This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06910049 7

PAF

Wiedemann

PHYSIKALISCHES

PRAKTIKUM

MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG

DER

PHYSIKALISCH-CHEMISCHEN METHODEN.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

4375

PHYSIKALISCHES PRAKTIKUM

MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG
DER
PHYSIKALISCH-CHEMISCHEN METHODEN

VON

EILHARD WIEDEMANN
UND
HERMANN EBERT.

MIT ZAHLREICHEN EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1890.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
2840 38
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R 1944 L

Alle Rechte vorbehalten.

HERRN

GUSTAV WIEDEMANN,

Professor der Physik an der Universität Leipzig

GEWIDMET

VON

DEN VERFASSERN.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
2840 3B
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
B 1944 L

Alle Rechte vorbehalten.

HERRN

GUSTAV WIEDEMANN,

Professor der Physik an der Universität Leipzig

GEWIDMET

VON

DEN VERFASSERN.

VORREDE.

Das von uns herausgegebene Buch soll hauptsächlich den Bedürfnissen der Anfänger überhaupt und der Studirenden der Chemie im Speciellen Rechnung tragen. Die Tendenz ist demnach eine elementarere als sie in den vorzüglichen Werken von F. Kohlrausch, Glazebrook und Shaw, Witz etc., ihrer ganzen Anlage nach, verfolgt wird. Diesen Zweck haben wir durch die Auswahl des Stoffes und die Art der Behandlung der einzelnen Aufgaben zu erreichen gesucht.

Wir haben einmal solche Aufgaben aufgenommen, welche den Anfänger in die Methoden und Gesetze der Physik überhaupt einführen, sodann haben wir ein besonderes Gewicht auf die physikalisch-chemischen Methoden gelegt. Es schien dies um so nothwendiger, als in den Lehrbüchern der Physik gerade auf diese Gebiete nicht genügend eingegangen werden kann, trotzdem ihre Kenntniss für den Chemiker unumgänglich nöthig, für den Physiker höchst wünschenswerth ist.

Einem jeden Abschnitt ist eine Einleitung vorausgeschickt, in welcher die allgemeinen Gesetze, die in ihm zur Anwendung kommen, erörtert, und die Grössen, die gemessen werden sollen, definirt sind. Besondere Uebungen sind zum Theil Wiederholungen der Vorlesungsversuche. Sie sollen dazu dienen, obige Gesetze fester einzuprägen und diejenigen Gesichtspunkte hervorzuheben, welche bei der Construction der Messapparate und bei den angewandten Methoden in Frage kommen. Dadurch wird es dem Praktikanten ermöglicht, auch ohne Zuhülfenahme eines besonderen Lehrbuches sich auf die auszuführenden Messungen vorzubereiten. Selbst für Fortgeschrittenere ist es oft schwierig, aus

einem grösseren Lehrbuche dasjenige herauszufinden, dessen sie für eine bestimmte Uebung bedürfen.

In der Einleitung werden auch die nöthigen Formeln, indess entsprechend der Tendenz des Buches ohne Zuhülfenahme höherer Mathematik abgeleitet.

Die Uebungen selbst sind je nach der Natur der in Frage kommenden Erscheinung qualitative oder quantitative. Im letzteren Falle wird gezeigt, wie aus den einzelnen Beobachtungsdaten diejenigen Grössen sich ableiten, welche in der entsprechenden Formel enthalten sind. Diese Berechnung ist so geführt, dass der Praktikant nicht einfach die erhaltenen Werthe in die Formel einzusetzen braucht, sondern dass er den Gedankengang, welcher zu derselben geführt hat, noch einmal durchdenken muss. In den meisten Fällen ist die Berechnung an einem Zahlenbeispiele erläutert, das zugleich ein Maass für die erreichte Genauigkeit giebt. Die Zahlen sind solche, wie sie von Praktikanten bei den Uebungen erhalten worden sind.

Um den Praktikanten mit den allgemeineren Resultaten der physikalischen Chemie bekannt zu machen, sind die Beispiele für die Uebungen so ausgewählt, dass dieselben schon an den bei ihnen erhaltenen Werthen hervortreten. Auch sind möglichst die zugehörigen theoretischen Betrachtungen beigefügt.

Der Abschnitt „Gebraucht wird“ soll es den Assistenten erleichtern, alle für eine Uebung erforderlichen Gegenstände zusammenzustellen.

Entsprechend den Zielen des Buches kann es nicht unsere Absicht sein, die Beschreibung von Präcisionsmessungen zu geben, sondern wir müssen uns mit einer geringeren Genauigkeit derselben begnügen. Daher werden die feineren Correctionen überhaupt nicht berücksichtigt und da, wo es sich darum handelt, den Einfluss einer Fehlerquelle hervortreten zu lassen, die Messungen so eingerichtet, dass der Fehler nicht zu klein ist.

Wir haben uns bemüht, die Apparate in sehr einfachen, dafür aber möglichst übersichtlichen Formen zu verwenden; sie sind dann auch als Demonstrationsapparate geeignet und ihre Beschaffung ist weniger gut dotirten Instituten möglich [1]).

[1]) Die meisten der benutzten Apparate sind von dem Mechaniker des hiesigen physikalischen Institutes, Herrn Böhner, ausgeführt worden.

Die sämmtlichen mitgetheilten Aufgaben können innerhalb zweier bis dreier Semester bei zwei- bis dreistündiger wöchentlicher Arbeit erledigt werden. Bei beschränkter Zeit lässt sich leicht eine Auswahl treffen, die es dem Praktikanten ermöglicht, sich in einem Semester eine Uebersicht zu verschaffen. Die erst später von demselben auszuführenden Uebungen sind in dem Inhalt durch einen * bezeichnet.

Die in dem Buche niedergelegte Lehrmethode hat sich während einer Reihe von Semestern in unserem Laboratorium bewährt; speciell im letzten Winter hat sich ergeben, dass mit Hülfe des Buches 20 bis 30 Praktikanten, von denen je zwei zusammen arbeiteten, an einem Uebungstage von uns beiden angeleitet werden konnten. Dabei war es noch möglich, eine grosse Anzahl der erhaltenen Resultate während des Praktikums selbst mit den Studirenden auszurechnen. So zeigte sich am besten, ob der Praktikant die Aufgabe verstanden hatte, eventuell konnten die nöthigen Erläuterungen gegeben werden.

Zum Schluss sei es uns noch gestattet, unseren allerbesten Dank zu sagen Herrn Geheimen Hofrath Quincke in Heidelberg für die Erlaubniss, die von ihm zusammengestellten vierstelligen Logarithmentafeln in unser Buch aufnehmen zu dürfen, Herrn Dr. Knoblauch in Erlangen für die Liebenswürdigkeit, dass er eine Revision gelesen und die Rechnungen controlirt hat, Herrn Professor Dr. Seubert in Tübingen für die Mittheilung der Tabelle und Tafel, Seite 74 und 75, sowie der Verlagsbuchhandlung von Friedrich Vieweg und Sohn, die keine Mühe gescheut hat, das Buch mit Holzschnitten auszustatten, die nach den von uns verwandten und erprobten Apparaten ausgeführt worden sind.

Erlangen, im September 1890.

E. Wiedemann.

H. Ebert.

INHALT[1]).

A. Allgemeine Physik.

Seite

I. Messen im Allgemeinen 1
Einleitung 1
Bildung von Mittelwerthen 1
Einheiten 2
1. Der Nonius 4
a) Der lineare Nonius 4
b) Der Kreisnonius 7
2. Die Schublade 8
3. Libelle und Horizontalstellen einer Platte 10
4. Das Kathetometer 11
a) Einfachere Form des Kathetometers 11
b) Vollkommenere Form des Kathetometers 12
Verticalstellen des Kathetometers 13
Messung der Höhe des Barometerstandes 14
Reduction des Druckes einer Quecksilbersäule von t^0 auf denjenigen einer solchen von 0^0 14
5. Das Mikrometer 15
Ausmessen der Dicke einer Glasplatte 16
Calibriren eines Absorptionsgefässes 16
6. Das Sphärometer 17
Aichung des Sphärometers 18
Messung der Dicke einer Platte 19
Messung des Radius R einer Kugel 19
Messung der Krümmungsradien einer Linse 20
7. Der Fühlhebel 20
8. Die Spiegelablesung 21
Verhältniss der Tangente zum Bogen 24
Gang der Strahlen bei der Spiegelablesung 25
Verwendung der Spiegelablesung zur Längenmessung 25

II. Das Pendel 26
Einleitung 26
1. Prüfung der Pendelgesetze 27
2. Bestimmung der beschleunigenden Kraft der Schwere . 28

[1]) Die mit einem * bezeichneten Aufgaben sind für Fortgeschrittenere bestimmt.

Seite

III. Die Waage 31
Einleitung 31
I. Der Schwerpunkt. Arten des Gleichgewichts 31
II. Das Hebelgesetz 32
III. Princip der Waage und des Wägens 34
IV. Theorie der Waage 34
1. Das Waagebalken-Modell nach Weinhold 36
Prüfung der Sätze über den Ausschlag und die Empfindlichkeit 37
2. Das Waagebalkenmodell nach Buff 39
Einfluss der Schneidenstellung auf die Empfindlichkeit 40
Einfluss der Lage des Schwerpunktes auf die Empfindlichkeit . 40
Einfluss der Länge der Balkenarme auf die Empfindlichkeit . . 41
*Einfluss der Ungleicharmigkeit der Waage auf die Wägungen . 41
3. Wägen mit einer nicht ganz gleicharmigen Waage . . . 43
Benutzung des bekannten Balkenverhältnisses. Methode von Borda. Doppelwägung 43
4. Chemische Waage 45
Einstellung der Waage 46
Ausführung einer Wägung. Bestimmung des Nullpunktes, das Wägen, Reduction auf den luftleeren Raum 46
*5. Calibriren eines Gewichtssatzes 48

IV. Dichte der festen und flüssigen Körper 50
Einleitung. Definition von Dichte und specifischem Gewicht . . . 50
Calibriren eines Rohres. Vermeidung der Parallaxe 52
Specifisches Volumen. Atom- und Molecularvolumen 55
Hydrostatische Waage 56
1. Verdrängungsmethoden 57
I. Bestimmungen mit dem Apparat von Al Biruni 57
II. Bestimmungen mit dem Pyknometer 58
1. Flüssigkeiten 59
2. Feste Körper 60
a) In Wasser nicht lösliche Körper 60
b) In Wasser lösliche Körper 61
*c) Körper, die nicht an der Luft gewogen werden dürfen 61
2. Hydrostatische Methoden 62
Archimedisches Princip 62
I. Bestimmungen mit der gewöhnlichen Waage 63
1. Feste Körper 63
a) Feste Körper, die schwerer als Wasser und in Wasser unlöslich sind 63
b) Feste, in Wasser lösliche Körper 63
c) Feste Körper, welche specifisch leichter sind als Wasser 64
2. Flüssigkeiten 65
II. Bestimmungen mit besonderen Vorrichtungen 66
A. Jolly'sche Federwaage 66
1. Prüfung des Gesetzes der Dehnung 66
2. Bestimmung des specifischen Gewichtes 66
B. Westphal-Mohr'sche Waage 67
C. Nicholson'sche Senkwaage 69
D. Aräometer 69
Contraction beim Mischen zweier Flüssigkeiten 70

Seite

Allgemeines über Atomvolumen und Molecularvolumen . 71
Periodisches System 73
Tabelle der Atomgewichte und Atomvolumina 74

V. Verhalten der Gase bei Druck- und Temperaturänderungen . 78

1. Das Volumenometer. (Boyle-) Mariotte'sches Gesetz . . 78
*2. Das Luftthermometer. Charles'- (Gay-Lussac'sches) Gesetz 80
Füllen des Luftthermometers mit Luft von bestimmter Temperatur und bestimmtem Druck 81
Vergleichung des Luftthermometers und Quecksilberthermometers 82
Allgemeines. Kinetische Gastheorie. Absolute Temperatur . . . 84

VI. Dichte der Dämpfe und Gase 86

Einleitung. Definition der Dampfdichte 86
Avogadro'sches Gesetz. Berechnung des Moleculargewichtes . 87
1. Bestimmung der Dichte eines permanenten Gases . . . 88
2. Methode von Dumas 90
3. Methode von Victor Meyer 93
4. Methode von Gay-Lussac und A. W. Hofmann 97
Calibriren eines Barometerrohres 99
*5. Methode von Bunsen, Ausfluss durch enge Oeffnungen 102
Torricelli'sches Theorem 102
Benutzung zur Bestimmung der Dichte von Gasen 103
Allgemeines. Avogadro'sches Gesetz. Verwendung der Dampfdichte zu Moleculargewichtsbestimmungen und zur Untersuchung von Dissociationen 105

VII. Elasticität. 107

Einleitung. Arten der Elasticität. Elastische Nachwirkung . . 107
1. Elasticität der Dehnung 107
Elasticitätscoëfficient und Elasticitätsmodul. Messung des Elasticitätscoëfficienten 108
*2. Elasticität der Biegung 110
Einfluss der Befestigung 110
Bestimmung des Elasticitätsmoduls durch die Biegung 111
*3. Elasticität der Torsion. Torsionscoëfficient 113
A. Statische Methode zur Bestimmung des Torsionscoëfficienten . 113
B. Dynamische Methode der Bestimmung desselben; Trägheitsmoment 116

VIII. Innere Reibung der Flüssigkeiten 119

Einleitung. Reibungscoëfficient 119
Bestimmung desselben 120
Allgemeines. Innere Reibung von Salzlösungen 123

***IX. Capillarität** 125

Einleitung 125
Bestimmung der Capillaritätsconstante durch Steighöhen 126

***X. Bestimmung der Länge der Schallwellen** 128

Einleitung. Schwingungszahl, Tonhöhe, Wellenlänge 128
Princip der Interferenz 128
Bestimmung der Wellenlänge 130

***XI. Bestimmung der Schallgeschwindigkeit** 1
Kundt'sche Röhren. Stehende Schwingungen 1
Schallgeschwindigkeit in Luft 1
Schallgeschwindigkeit in Glas 1
Bestimmung des Elasticitätsmoduls aus der Schallgeschwindigkeit . 1
Schallgeschwindigkeit in Kohlensäure 1

B. Wärme.

I. Ausdehnung der Körper 1
Einleitung. Linearer und cubischer Ausdehnungscoëfficient . . 1
1. Bestimmung des Ausdehnungscoëfficienten von Stäben nach der Methode von Lavoisier und Laplace 1
*2. Das Gewichtsdilatometer 1
Bestimmung des cubischen Ausdehnungscoëfficienten von Glas . 1
Bestimmung des cubischen Ausdehnungscoëfficienten von Benzol 14
*3. Bestimmung des specifischen Gewichtes und des Molecularvolumens von Flüssigkeiten beim Siedepunkt . 14
Allgemeines. Molecularvolumen beim Siedepunkt 14

II. Das Thermometer 14
Einleitung 14
1. Bestimmung der Fundamentalpunkte eines Thermometers 14
1. Bestimmung des Nullpunktes 14
2. Bestimmung des Siedepunktes 14
2. Calibriren einer Thermometerröhre 14
3. Vergleichung zweier Thermometer 14

III. Schmelzpunkt 15
Einleitung 15
Ueberschmelzen, Unterkühlen 15
Bestimmung des Schmelzpunktes 15
Allgemeines. Doppelte Schmelzpunkte 15

IV. Dampfdruck und Siedepunkt 15
1. Unterschied zwischen Dampf und Gas 15
Dampfdruck 15
Maximum des Dampfdruckes 15
Allgemeines. Kritische Temperatur, kritischer Druck und kritisches Volumen 15
*2. Bestimmung der Dampfdrucke 15
*3. Bestimmung des Siedepunktes 15
Allgemeines. Beziehung zwischen Zusammensetzung und Siedepunkt 16

V. Hygrometrie 161
1. Directe Bestimmung der mittleren Luftfeuchtigkeit durch Wägung 161
Thaupunkt, relative Luftfeuchtigkeit 162
2. Das Daniell'sche Hygrometer 163
3. Das Döbereiner-Regnault'sche Hygrometer 164

Seite
4. Das Differential-Psychrometer nach August 165
5. Saussure's Haarhygrometer 167
VI. Gefrierpunktserniedrigungen von Lösungen 169
Einleitung. Specifische und moleculare Gefrierpunktserniedrigung 169
Gefrierpunktserniedrigungen in Benzol 171
Gefrierpunktserniedrigungen in Wasser 173
Allgemeines. Arrhenius'sche Theorie 173
***VII. Erhöhung des Siedepunktes von Lösungen** 175
VIII. Specifische Wärme fester und flüssiger Körper 179
Einleitung. Verschiedene thermische Grössen 179
Calorie, specifische Wärme, Atomwärme, Molecularwärme . . . 180
Wasserwerth 180
1. Mischungsmethode 181
Einleitung 181
Erwärmungsapparate 182
Calorimeter 183
1. Bestimmung des Wasserwerthes eines Thermometers 184
2. Bestimmung der specifischen Wärme von festen Körpern . . 184
A. Versuche ohne Rücksicht auf Strahlungsverluste 184
B. Versuche mit Berücksichtigung der Strahlung 186
3. Bestimmung der specifischen Wärme von Flüssigkeiten . . . 188
A. Methode von Andrews 188
B. Methode von Kopp 189
*2. Strahlungsmethode 190
Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit 193
Allgemeines. Convection, Strahlungsgesetz 194
*3. Bestimmung der specifischen Wärme mit dem Eiscalorimeter 195
Allgemeines. Dulong-Petit'sches Gesetz 198
***IX. Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes** 200
Einleitung. Aequivalenz von Wärme und Arbeit. Mechanisches Wärmeäquivalent 200
Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes . . . 201
***X. Specifische Wärme der Gase** 205
Einleitung. Specifische Wärme bei constantem Druck und constantem Volumen 205
1. Bestimmung des Verhältnisses der beiden specifischen Wärmen nach Clement und Desormes 205
2. Bestimmung des Verhältnisses der specifischen Wärmen durch die Schallgeschwindigkeiten 206
Allgemeines. Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalents . 207
Verhältniss der translatorischen Energie der Molecüle zur gesammten Energie 208
XI. Schmelzwärme 209
1. Latente Schmelzwärme des Eises 210
2. Latente Schmelzwärme des Benzols 210
XII. Verdampfungswärme 212
Einleitung 212
Methode 212

Seite

Berechnung des Einflusses der Strahlung auf die Temperatur des Calorimeters 215
Allgemeines. Innere und äussere latente Verdampfungswärme . 216
XIII. Lösungswärme 218
XIV. Thermochemische Processe 221
Wärmeentwickelung bei chemischen Processen 221
Thermochemische Bezeichnungsweise. Grundsatz der Thermochemie 221
1. Bestimmung der Neutralisationswärme 222
Allgemeines 224
2. Bestimmung der Hydratationswärme 225

C. Optik.

Einleitung 227
Eintheilung der Optik 227
Fortpflanzungsgeschwindigkeit, Wellenlänge, Schwingungszahl . 228

I. Photometrie 230
Einleitung. Gesetz des umgekehrten Quadrates der Entfernung . 230
Optische Bank 231
1. Bunsen'sches Photometer 231
2. Joly'sches Photometer 232
3. Lummer-Brodhun'sches Photometer 232
1. Prüfung des Gesetzes der Abnahme der Erleuchtung mit dem Quadrate der Entfernung 233
2. Vergleichung zweier Lichtquellen 233
3. Bestimmung der Lichtmengen, welche von einem Flachbrenner nach verschiedenen Seiten hin ausgehen 234
4. Bestimmung des Absorptionscoëfficienten eines Rauchglases . . . 235

II. Reflexion des Lichtes 237
1. Ebene Spiegel. Reflexionsgesetz 237
Virtuelle Bilder 238
2. Hohlspiegel 238
Brennweite. Hohlspiegelgesetze 239
1. Prüfung der Hohlspiegelgesetze 240
2. Bestimmung der Brennweite eines Augenspiegels 241
*3. Wollaston's Reflexionsgoniometer 242

III. Bestimmung des Brechungsindex 245
Einleitung. Gesetz von Snell oder Descartes. Bedeutung des Brechungsindex ($n = v_1/v_2$) 245
1. Vorübung 246
I. Bestimmung des Brechungsindex mit einem halbkreisförmigen Flüssigkeitstrog 246
II. Bestimmung der Brechungsindices mittelst eines Spectrometermodells 247
Prismen. Formel für den Brechungsindex 248
Spectrometermodell nach Weinhold 250
Einstellung des Apparates. Bestimmung des Prismenwinkels . 251

Seite

Bestimmung der Ablenkung für beliebige Strahlen 252
Dispersion. Fraunhofer'sche Linien 253
Bestimmung der Brechungsindices für Strahlen von bestimmter Wellenlänge 254
*2. Bestimmung des Brechungsindex mit dem Spectrometer 255
I. Beschreibung und Einstellung des Spectrometers 255
II. Brechungsindex und Wellenlänge. Cauchy'sche Formel . 258
III. Brechungsindex und Dichte 259
IV. Brechungsindex von Gemischen 260
V. Brechungsindex und chemische Constitution. Molecularrefraction 261
IV. Totalreflexion 264
Einleitung. Grenzwinkel der totalen Reflexion 264
1. Kohlrausch'sches Totalreflectometer 265
I. Isotrope Körper 267
II. Doppelbrechende Krystalle 268
2. Abbe'sches Refractometer 268
I. Flüssigkeiten 270
II. Feste Körper 271
V. Linsen 272
Einleitung. Sammel- und Zerstreuungslinsen 272
Reelle und virtuelle Brennpunkte. Linsenformel 273
I. Vorübung 274
II. Prüfung der Linsenformel und Methoden zur Bestimmung der Brennweite von Sammellinsen 275
A. Directe Methoden zur Bestimmung der Brennweite 275
B. Prüfung der Linsenformel und Benutzung derselben zur Bestimmung der Brennweite 275
C. Sphärische und chromatische Aberration der Linsen 276
D. Methode von Bessel zur Bestimmung der Brennweite . . . 277
III. Bestimmung der Brennweite von Zerstreuungslinsen 278
A. Directe Methode 278
*B. Indirecte Methode mit Hülfe der Linsenformel 280
IV. Bestimmung der Vergrösserungszahl von Fernrohren, Mikroskopen und Lupen 281
Definition von Vergrösserung 282
a) Fernrohr 282
b) Mikroskop 283
c) Lupe 284
VI. Spectralanalyse 285
I. Einleitung. Aufgabe der Spectralanalyse, Spectrum 285
Emissionsspectrum. Absorptionsspectrum 286
II. Lichtquellen. Drummond'sches Kalklicht. Elektr. Licht 286
Bunsen-, Terquembrenner. Vorrichtungen zum Einführen von Salzen in die Flamme 287
Geissler'sche Röhren 288
Fulgurator. Vorrichtung f. Funkenspectren zwischen Metallen 289
III. Vorübung: Entwerfen eines Spectrums 289
Continuirliches Spectrum, Emissions- u. Absorptionsspectrum 291
IV. Die Spectralapparate 292
I. Spectroskope mit gerader Durchsicht 292

Seite

II. Spectralapparat mit Ablenkung nach Bunsen u. Kirchhoff 292
a) Beschreibung. Vergleichsprisma 292
b) Justirung des Spectralapparates 294
V. Aichen der Scala und Bestimmung der Wellenlänge der Linien des Wasserstoffs 295
a) Aichen der Scala 295
b) Ermittelung der Wellenlänge der Linien des Wasserstoffspectrums aus Ablesungen an der Scala 297
VI. Emissionsspectra 298
Einleitung. Continuirliches Spectrum 298
Banden- oder cannelirte Spectra. Linienspectra. Verbindungsspectra 299
a) Emissionsspectra, die im Bunsen- bezw. Terquembrenner erhalten werden. Aufzeichnung derselben: Natrium, Kalium, Lithium, Baryum, Strontium, Calcium, Indium, Thallium 300
Kupfer, Blei, Mangan, Magnesium, Bandenspectrum d. Kohle 301
b) Emissionsspectra der Gase und Dämpfe unter dem Einflusse elektrischer Entladungen. Wasserstoff 301
Stickstoff, Sauerstoff, Kohlensäure, Quecksilber 302
Haloidverbindungen des Quecksilbers 303
*c) Funkenspectra von Salzlösungen. Magnesium, Natrium, harmonische Schwingungen 304
*d) Funkenspectra der festen Metalle; lange und kurze Linien . 304
*e) Die ultravioletten Spectra. Fluorescenz, Cadmiumspectrum 305
Phosphorescenz, Luminescenzerscheinungen 306
f) Verwendung der Emissionsspectra zur Analyse 306
Nachweis von Metallen 307
Verwendung des Vergleichsprismas 307
VII. Absorptionsspectra. Einleitung 308
a) Untersuchung und Aufzeichnung der wichtigsten Absorptionsspectra 308
I. Methoden. Untersuchung von Pulvern, von planparallelen Schichten 308
II. Beschreibung einiger Absorptionsspectra. Einseitige Absorption 309
Zweiseitige Absorption. Bandenspectra. Linienspectra 311
Didymspectra 312
b) Einfluss von Temperatur, Schichtdicke u. s. w. auf die Absorptionsspectra 312
I. Einfluss der Schichtdicke 312
II. Einfluss der Concentration 312
III. Einfluss des Lösungsmittels (physikalischer Einfluss, chemischer Einfluss) 313
IV. Einfluss der Temperatur 314
c) Verwendung der Absorptionsspectra zur Analyse 314
I. Nachweis von Kalium neben Natrium 314
II. Spectralreactionen der Uransalze 315
III. Spectralreaction zur Erkennung von Magnesium . . . 316
IV. Die Blutreactionen 316
VIII. Untersuchung des Sonnenspectrums. Fraunhofer'sche Linien 318
Kirchhoff'sches Gesetz 319

Seite

*VII. Das Spectrophotometer 320
Princip des Vierordt'schen u. Glan'schen Photometers. Beschreibung des letzteren 320
1. Aichen des Apparates 322
2. Vergleichung der Helligkeit verschiedener Farben zweier Lichtquellen 322
3. Bestimmung der Absorptionscoëfficienten eines farbigen Glases 323
4. Bestimmung der Absorption einer gefärbten Flüssigkeit . . . 324

VIII. Polarisation 325
Geradlinig polarisirtes Licht 325
a) Nörremberg'scher Apparat 325
Polarisationsebene 326
Polarisator, Analysator 327
b) Nicol'sches Prisma. Doppelbrechung 327
c) Turmalinplatte 328

IX. Drehung der Polarisationsebene 329
Einleitung. Optisch active Körper, rechts- u. linksdrehende Körper 329
1. Der Mitscherlich'sche Polarisationsapparat und Grundversuche. Beschreibung 330
I. Versuche mit Quarzplatten 330
Einfluss der Dicke. Drehung verschiedener Modificationen . 331
Einfluss der Farbe. Rotationsdispersion. Uebergangsfarbe . 332
II. Versuch mit Terpentinöl. Abhängigkeit von Dichte und Concentration 333
Specifisches Drehungsvermögen 334
1. Herstellung der Zuckerlösungen 335
2. Bestimmung der Drehung. Moleculares Drehungsvermögen . 335
*2. Rotationsdispersion 336
Formel von Boltzmann 338
*3. Lippich'scher Halbschattenapparat 338
4. Das Laurent'sche Polaristrobometer 339
5. Das Wild'sche Polaristrobometer. Savart'sche Doppelplatte 342
6. Das Saccharimeter von Soleil-Ventzke 344
Allgemeines 346
Eintheilung der drehenden Körper. Hemiëdrische und tetartoëdrische Flächen an denselben 346
Trennung der beiden drehenden Modificationen 347
Asymmetrisches Kohlenstoffatom 348
Zusammenstellung der Modificationen einiger Verbindungen (drehende und nicht drehende) 349

*X. Interferenz des Lichtes 350
1. Bestimmung der Wellenlänge λ der Lichtstrahlen mit dem Gitter 350
Huygens'sches Princip. Beugung. Gitter und homogenes Licht 350
Gitter und weisses Licht 351
Gitterconstante. Gesetze der Ablenkung durch ein Gitter . . . 352
Normalspectrum. Prüfung der Gittergesetze 353
Verhältniss der Wellenlängen $\lambda_{Na} : \lambda_{Li}$. Bestimmung der Gitterconstante. Bestimmung der Wellenlänge von λ_{Na} 354

Seite

2. Newton'sche Farbenringe. Theorie derselben 354
I. Messung der Ringradien. Prüfung der für dieselben geltenden Gesetze 356
II. Aichen der Theilmaschinenschraube 357
III. Bestimmung des Krümmungsradius der angewandten Linse . 357
IV. Bestimmung der Wellenlänge des Lithiumlichtes. Farben dünner Blättchen 357

D. Elektricitätslehre.

I. Apparate 358
1. Die galvanischen Elemente 358
I. Elemente mit einer Flüssigkeit 358
1) Volta'sche Kette. Amalgamiren des Zinks 358
2) Leclanché-Element 359
3) Bunsen's Chromsäureelement. Tauchelement 359
4) Element von Latimer Clark 359
II. Elemente mit zwei Flüssigkeiten 360
1) Element von Daniell. Normalelement von Daniell . 360
2) u. 3) Element von Grove u. Bunsen 361
III. Verbindung mehrerer Elemente 362
1) Neben einander. 2) Hinter einander 362
2. Leitungsdrähte und Klemmschrauben 363
3. Stromunterbrecher 363
4. Stromwender, Commutator oder Gyrotrop 364
1. Gyrotrop von Pohl 364
2. Gyrotrop von Ruhmkorff 364
5. Galvanometer. Horizontal- und Verticalgalvanometer . . . 366
Federgalvanometer nach Kohlrausch 368
6. Die Rheostaten 369
Stöpselrheostat 369
Kurbelrheostat 370

II. Ohm'sches Gesetz. Einheiten. Stromverzweigung 371
1. Ohm'sches Gesetz 371
1) Stromstärke, Stromdichte 371
2) Elektromotorische Kraft 371
3) Widerstand. Ohm'sches Gesetz 371
Widerstand und Dimensionen des Leiters. Specifischer Widerstand, specifische Leitfähigkeit. Innerer oder wesentlicher und äusserer oder unwesentlicher Widerstand 372
2. Einheiten 372
Empirische Einheiten. Chemische für die Stromstärke. Daniell und Latimer Clark für die elektromotorische Kraft, Siemens für den Widerstand 372
Absolute Einheiten. Ampère 372
Ohm. Volt 373
3. Stromverzweigung 373
Kirchhoff'sche Sätze 373
Zweigströme, Nebenschluss, Wheatstone'sche Brücke . . . 374

Seite

III. Grundversuche. Ampère'sche Regel. Qualitative Prüfung des Ohm'schen Gesetzes 375

1. Bestimmung der Pole einer Säule mit dem Elektroskop 375
2. Ampère'sche Regel 376
Pole des Chromsäure-, Leclanché- und Daniell-Elementes . . . 376
3. Qualitative Prüfung des Ohm'schen Gesetzes 377
Einfluss des Widerstandes 377
Einfluss der elektromotorischen Kraft 378

IV. Bestimmung des elektrischen Leitungswiderstandes 379

Einleitung. Leiter erster und zweiter Classe 379
1. Leiter erster Classe 379
A. Bestimmung nach der Substitutionsmethode 379
B. Bestimmungen mit der Wheatstone'schen Brücke . . . 381
Bestimmungen von gegebenen Widerständen 383
*Bestimmung eines Zuleitungswiderstandes 384
Vollkommenere Form der Wheatstone'schen Brücke . . 385
*2. Aenderung des Widerstandes der Leiter erster Classe mit der Temperatur 386
*3. Leitfähigkeit der Elektrolyte 388
Moleculare Leitfähigkeit 388
Methode von Kohlrausch 389
Allgemeines 392
Theorie von Arrhenius. Dissociationsgrad der Lösung eines Elektrolyten 393
*4. Bestimmung des Widerstandes galvanischer Elemente 394

V. Elektromotorische Kraft 395

*1. Bestimmung der elektromotorischen Kraft mit dem Elektrometer 395
A. Bestimmung mit dem Hankel'schen Elektrometer. Ladungsbatterie 395
B. Bestimmung mit dem Quadrantelektrometer 397
2. Bestimmung durch Vergleichung mittelst des Galvanometers nach Fechner 399
3. Bestimmung nach dem Compensationsverfahren von du Bois-Reymond 400
Bestimmung der elektrom. Kraft eines Leclanché-Elements . . 401
Bestimmung der elektrom. Kraft verschiedener Elemente . . . 402
Aenderung der elektromotorischen Kraft mit der Zeit 402

VI. Tangentenbussole und Spiegelgalvanometer 403

1. Tangentenbussole 403
Tangentengesetz 403
Reductionsfactor 404
Aichung der Tangentenbussole 405
*2. Spiegelgalvanometer zur genauen Messung von Strömen 407
A. Beschreibung und Einstellung des Spiegelgalvanometers . . 407
Glockenmagnet 408
B. Astasirung des Galvanometers 409
C. Aichung des Galvanometers 410
D. Reduction der Scalenablesung auf den Bogen 410

Seite

III. Die Waage 31
Einleitung 31
I. Der Schwerpunkt. Arten des Gleichgewichts 31
II. Das Hebelgesetz 32
III. Princip der Waage und des Wägens 34
IV. Theorie der Waage 34
1. Das Waagebalken-Modell nach Weinhold 36
Prüfung der Sätze über den Ausschlag und die Empfindlichkeit 37
2. Das Waagebalkenmodell nach Buff 39
Einfluss der Schneidenstellung auf die Empfindlichkeit 40
Einfluss der Lage des Schwerpunktes auf die Empfindlichkeit . 40
Einfluss der Länge der Balkenarme auf die Empfindlichkeit . . 41
*Einfluss der Ungleicharmigkeit der Waage auf die Wägungen . 41
3. Wägen mit einer nicht ganz gleicharmigen Waage . . . 43
Benutzung des bekannten Balkenverhältnisses. Methode von Borda. Doppelwägung 43
4. Chemische Waage 45
Einstellung der Waage 46
Ausführung einer Wägung. Bestimmung des Nullpunktes, das Wägen, Reduction auf den luftleeren Raum 46
*5. Calibriren eines Gewichtssatzes 48

IV. Dichte der festen und flüssigen Körper 50

Einleitung. Definition von Dichte und specifischem Gewicht . . . 50
Calibriren eines Rohres. Vermeidung der Parallaxe 52
Specifisches Volumen. Atom- und Molecularvolumen 55
Hydrostatische Waage 56
1. Verdrängungsmethoden 57
I. Bestimmungen mit dem Apparat von Al Biruni 57
II. Bestimmungen mit dem Pyknometer 58
1. Flüssigkeiten 59
2. Feste Körper 60
a) In Wasser nicht lösliche Körper 60
b) In Wasser lösliche Körper 61
*c) Körper, die nicht an der Luft gewogen werden dürfen 61
2. Hydrostatische Methoden 62
Archimedisches Princip 62
I. Bestimmungen mit der gewöhnlichen Waage 63
1. Feste Körper 63
a) Feste Körper, die schwerer als Wasser und in Wasser unlöslich sind 63
b) Feste, in Wasser lösliche Körper 63
c) Feste Körper, welche specifisch leichter sind als Wasser 64
2. Flüssigkeiten 65
II. Bestimmungen mit besonderen Vorrichtungen 66
A. Jolly'sche Federwaage 66
1. Prüfung des Gesetzes der Dehnung 66
2. Bestimmung des specifischen Gewichtes 66
B. Westphal-Mohr'sche Waage 67
C. Nicholson'sche Senkwaage 69
D. Aräometer 69
Contraction beim Mischen zweier Flüssigkeiten 70

Seite

Allgemeines über Atomvolumen und Molecularvolumen . 71
Periodisches System 73
Tabelle der Atomgewichte und Atomvolumina 74

V. Verhalten der Gase bei Druck- und Temperaturänderungen . 78

1. Das Volumenometer. (Boyle-) Mariotte'sches Gesetz . . 78
*2. Das Lufthermometer. Charles'- (Gay-Lussac'sches) Gesetz 80
Füllen des Lufthermometers mit Luft von bestimmter Temperatur und bestimmtem Druck 81
Vergleichung des Lufthermometers und Quecksilberthermometers 82
Allgemeines. Kinetische Gastheorie. Absolute Temperatur . . . 84

VI. Dichte der Dämpfe und Gase 86

Einleitung. Definition der Dampfdichte 86
Avogadro'sches Gesetz. Berechnung des Moleculargewichtes . 87
1. Bestimmung der Dichte eines permanenten Gases . . . 88
2. Methode von Dumas 90
3. Methode von Victor Meyer 93
4. Methode von Gay-Lussac und A. W. Hofmann 97
Calibriren eines Barometerrohres 99
*5. Methode von Bunsen, Ausfluss durch enge Oeffnungen 102
Torricelli'sches Theorem 102
Benutzung zur Bestimmung der Dichte von Gasen 103
Allgemeines. Avogadro'sches Gesetz. Verwendung der Dampfdichte zu Moleculargewichtsbestimmungen und zur Untersuchung von Dissociationen 105

VII. Elasticität. 107

Einleitung. Arten der Elasticität. Elastische Nachwirkung . . 107
1. Elasticität der Dehnung 107
Elasticitätscoëfficient und Elasticitätsmodul. Messung des Elasticitätscoëfficienten 108
*2. Elasticität der Biegung 110
Einfluss der Befestigung 110
Bestimmung des Elasticitätsmoduls durch die Biegung 111
*3. Elasticität der Torsion. Torsionscoëfficient 113
A. Statische Methode zur Bestimmung des Torsionscoëfficienten . 113
B. Dynamische Methode der Bestimmung desselben; Trägheitsmoment 116

VIII. Innere Reibung der Flüssigkeiten 119

Einleitung. Reibungscoëfficient 119
Bestimmung desselben 120
Allgemeines. Innere Reibung von Salzlösungen 123

***IX. Capillarität** 125

Einleitung 125
Bestimmung der Capillaritätsconstante durch Steighöhen 126

***X. Bestimmung der Länge der Schallwellen** 128

Einleitung. Schwingungszahl, Tonhöhe, Wellenlänge 128
Princip der Interferenz 128
Bestimmung der Wellenlänge 130

A. Allgemeine Physik.

I. Messen im Allgemeinen.

Einleitung.

Zweck der in diesem Abschnitt enthaltenen Aufgaben ist, an einfachen Beispielen die Vorrichtungen vorzuführen, welche zur Messung von Längen und Winkeln dienen, und die an den verschiedenartigsten Apparaten immer wieder vorkommen, sowie ferner die Durchführung systematischer Messungsreihen zu erläutern. Gleichzeitig sollen die ausführlich mitgetheilten Zahlenbeispiele das Schema geben, wie solche Messungsreihen aufzuschreiben und bei der Berechnung zu verwenden sind.

Bei den Messungen begnügt man sich im Allgemeinen nicht damit, die zu messende Grösse einmal zu bestimmen, sondern man stellt mehrere Messungen hinter einander unter denselben Bedingungen an, um sich von zufälligen Irrungen frei zu machen. Die dabei erhaltenen Einzelwerthe $A_1, A_2, A_3, \ldots\ldots A_n$ geben erstens durch ihre mehr oder weniger grosse Uebereinstimmung ein Urtheil über die mit der betreffenden Methode zu erreichende Genauigkeit, zweitens lässt sich aus ihnen ein Werth berechnen, der grösseres Zutrauen verdient, als irgend eine einzelne Messung. Addirt man nämlich alle erhaltenen Zahlenwerthe: $A_1 + A_2 + \cdots + A_n$ und dividirt ihre Summe durch die Anzahl n der Einzelmessungen, so erhält man einen Werth A, der sich so eng wie möglich an die Gesammtheit der Zahlenwerthe anschliesst und der Wahrheit um so näher kommt, je grösser n ist. Diesen Werth

$$A = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \cdots + A_n}{n}$$

nennt man das arithmetische Mittel. Indess muss man sich vor der oft vorkommenden Täuschung hüten, als ob man durch Häufung der Messungen die Ungenauigkeiten einer unvollkommenen Methode com-

Seite

III. Die Waage 31
Einleitung 31
I. Der Schwerpunkt. Arten des Gleichgewichts 31
II. Das Hebelgesetz 32
III. Princip der Waage und des Wägens 34
IV. Theorie der Waage 34
1. Das Waagebalken-Modell nach Weinhold 36
Prüfung der Sätze über den Ausschlag und die Empfindlichkeit 37
2. Das Waagebalkenmodell nach Buff 39
Einfluss der Schneidenstellung auf die Empfindlichkeit 40
Einfluss der Lage des Schwerpunktes auf die Empfindlichkeit . 40
Einfluss der Länge der Balkenarme auf die Empfindlichkeit . . 41
*Einfluss der Ungleicharmigkeit der Waage auf die Wägungen . 41
3. Wägen mit einer nicht ganz gleicharmigen Waage . . . 43
Benutzung des bekannten Balkenverhältnisses. Methode von Borda. Doppelwägung 43
4. Chemische Waage 45
Einstellung der Waage 46
Ausführung einer Wägung. Bestimmung des Nullpunktes, das Wägen, Reduction auf den luftleeren Raum 46
*5. Calibriren eines Gewichtssatzes 48

IV. Dichte der festen und flüssigen Körper 50

Einleitung. Definition von Dichte und specifischem Gewicht . . . 50
Calibriren eines Rohres. Vermeidung der Parallaxe 52
Specifisches Volumen. Atom- und Molecularvolumen 55
Hydrostatische Waage 56
1. Verdrängungsmethoden 57
I. Bestimmungen mit dem Apparat von Al Biruni 57
II. Bestimmungen mit dem Pyknometer 58
1. Flüssigkeiten 59
2. Feste Körper 60
a) In Wasser nicht lösliche Körper 60
b) In Wasser lösliche Körper 61
*c) Körper, die nicht an der Luft gewogen werden dürfen 61
2. Hydrostatische Methoden 62
Archimedisches Princip 62
I. Bestimmungen mit der gewöhnlichen Waage 63
1. Feste Körper 63
a) Feste Körper, die schwerer als Wasser und in Wasser unlöslich sind 63
b) Feste, in Wasser lösliche Körper 63
c) Feste Körper, welche specifisch leichter sind als Wasser 64
2. Flüssigkeiten 65
II. Bestimmungen mit besonderen Vorrichtungen 66
A. Jolly'sche Federwaage 66
1. Prüfung des Gesetzes der Dehnung 66
2. Bestimmung des specifischen Gewichtes 66
B. Westphal-Mohr'sche Waage 67
C. Nicholson'sche Senkwaage 69
D. Aräometer 69
Contraction beim Mischen zweier Flüssigkeiten 70

Seite

Allgemeines über Atomvolumen und Molecularvolumen . 71
Periodisches System 73
Tabelle der Atomgewichte und Atomvolumina 74

V. Verhalten der Gase bei Druck- und Temperaturänderungen . 78

1. Das Volumenometer. (Boyle-) Mariotte'sches Gesetz . . 78
*2. Das Luftthermometer. Charles'- (Gay-Lussac'sches) Gesetz 80
Füllen des Luftthermometers mit Luft von bestimmter Temperatur und bestimmtem Druck 81
Vergleichung des Luftthermometers und Quecksilberthermometers 82
Allgemeines. Kinetische Gastheorie. Absolute Temperatur . . . 84

VI. Dichte der Dämpfe und Gase 86

Einleitung. Definition der Dampfdichte 86
Avogadro'sches Gesetz. Berechnung des Moleculargewichtes . 87
1. Bestimmung der Dichte eines permanenten Gases . . . 88
2. Methode von Dumas 90
3. Methode von Victor Meyer 93
4. Methode von Gay-Lussac und A. W. Hofmann 97
Calibriren eines Barometerrohres 99
*5. Methode von Bunsen, Ausfluss durch enge Oeffnungen 102
Torricelli'sches Theorem 102
Benutzung zur Bestimmung der Dichte von Gasen 103
Allgemeines. Avogadro'sches Gesetz. Verwendung der Dampfdichte zu Moleculargewichtsbestimmungen und zur Untersuchung von Dissociationen 105

VII. Elasticität. 107

Einleitung. Arten der Elasticität. Elastische Nachwirkung . . 107
1. Elasticität der Dehnung 107
Elasticitätscoëfficient und Elasticitätsmodul. Messung des Elasticitätscoëfficienten 108
*2. Elasticität der Biegung 110
Einfluss der Befestigung 110
Bestimmung des Elasticitätsmoduls durch die Biegung 111
*3. Elasticität der Torsion. Torsionscoëfficient 113
A. Statische Methode zur Bestimmung des Torsionscoëfficienten . 113
B. Dynamische Methode der Bestimmung desselben; Trägheitsmoment 116

VIII. Innere Reibung der Flüssigkeiten 119

Einleitung. Reibungscoëfficient 119
Bestimmung desselben 120
Allgemeines. Innere Reibung von Salzlösungen 123

***IX. Capillarität** 125

Einleitung 125
Bestimmung der Capillaritätsconstante durch Steighöhen 126

***X. Bestimmung der Länge der Schallwellen** 128

Einleitung. Schwingungszahl, Tonhöhe, Wellenlänge 128
Princip der Interferenz 128
Bestimmung der Wellenlänge 130

Die Masseneinheit ist die Masse, welche in einem Cubikcentimeter enthalten ist, der mit destillirtem Wasser von $+4^0$ C. gefüllt ist. Sie heisst das Gramm (g). Den Massen verschiedener Körper proportional sind die von ihnen unter dem Einflusse der Schwere auf ihre Unterlage ausgeübten Drucke, d. h. ihre Gewichte[1]). Setzt man daher das Gewicht der Masse 1 gleich 1, so bestimmen die gleichen Zahlen Massen und Gewichte. Häufig bezeichnet man, wenn auch ungenau, mit dem Gramm eine Gewichtseinheit und nicht eine Masseneinheit. Aus dem Gramm leiten sich ab folgende

Massen- oder Gewichtsmaasse.

1000000 Gramm	= 1000 Kilogramm	= 1 Tonne	
1000 Gramm	= 1 Kilogramm	. . . . .	= Kg
100 Gramm	= 1 Hektogramm	. . . . .	= Hg
10 Gramm	= 1 Dekagramm	. . . . .	= Dg
1 Gramm	=	. . . . .	= g
$\frac{1}{10}$ Gramm	= 1 Decigramm	. . . . .	= dg
$\frac{1}{100}$ Gramm	= 1 Centigramm	. . . . .	= cg
$\frac{1}{1000}$ Gramm	= 1 Milligramm	. . . . .	= mg

Die im Folgenden beschriebenen Messinstrumente dienen dazu, gegebene Längen und Winkel zu messen.

1. Der Nonius[2]).

Gebraucht wird: Modell des linearen, vorlaufenden Nonius mit Holzstäben zum Messen. Modell eines Kreisnonius.

a) Der lineare Nonius.

Apparat. Eine Schiene aus Holz von beistehendem Querschnitt (Fig. 1) ist auf der Fläche A mit einer von 0 an beginnenden Theilung versehen (Abstand zweier Theilstriche ca. 5 cm), wie es die Fig. 2 zeigt. In der Rinne B lässt sich ein Brettchen B' leicht verschieben, dessen Länge gleich dem Abstand von 10 bis 11 Theilstrichen auf A ist. Auf der einen flachen Seite I. desselben ist ungefähr in der Mitte ein einfacher Strich (Index) senkrecht zur Längskante gezogen. Auf der anderen

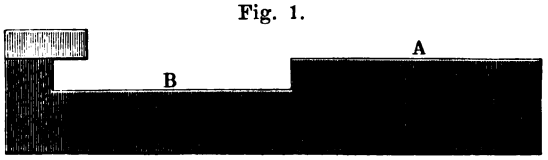
[1]) Ist m die Masse, γ die beschleunigende Kraft der Schwere, G das Gewicht eines Körpers, so ist allgemein $G = \gamma m$.

[2]) Wir behandeln nur den vorlaufenden Nonius, der bei Weitem häufiger als der rücklaufende Anwendung findet. Ebenso beschränken wir uns auf die gewöhnlichsten Fälle der Theilung: bei dem linearen Nonius auf den Fall, dass Zehntel der Haupttheilung durch den Nonius gegeben werden, beim Kreisnonius auf den Fall, dass der Nonius die einzelnen Minuten giebt, während die Haupttheilung halbe Grade anzeigt.

Seite II. ist eine Theilung (Nonius) so gezeichnet, dass die Länge von neun Theilen der Haupttheilung auf A in 10 gleiche Theile getheilt ist. Die Bezifferung dieser Theilstriche läuft in demselben Sinne wie auf A, die Ziffer 0 befindet sich gerade an der einen Kante des Brettchens.

Das bewegliche Brettchen B' sei in B zunächst so eingeschoben, dass die Seite I. mit dem Index oben ist. Durch die Lage des Index gegen die Theilung ist die Stellung des Brettchens B' bestimmt, eine Verschiebung desselben wird durch die Verschiebung des Index längs der Theilung gemessen. Hierbei liest man die Anzahl der ganzen Theilstriche, durch welche die Anfangs- und Endlage von B' bestimmt

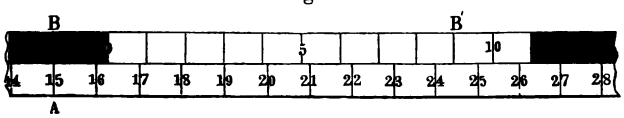
Fig. 1.



wird, ohne Weiteres ab. Bezüglich der Bruchtheile, etwa der Zehntel von Theilstrichen, ist man aber auf Schätzung angewiesen. An sehr vielen Instrumenten bewegen sich längs einer Theilung nur solche einfache Indices: Ein derartiger Index ist z. B. das Ende der Quecksilbersäule beim Thermometer. Ist dies in ganze Grade getheilt, so kann man die Zehntel noch durch Schätzung bestimmen, worin man durch Uebung leicht eine gewisse Sicherheit erlangt.

Rücken die Theilstriche sehr eng an einander, wird also die Theilung sehr fein, so wird die immer unsichere Schätzung äusserst schwierig. In diesem Falle benutzt man den Nonius.

Fig. 2.



Uebung 1. 1) Man gebe dem beweglichen Brette B' die Stellung, dass Seite I. oben liegt.

2) Man verschiebt B', so dass sein eines Ende mit einem Punkte p der Theilung zusammenfällt und liest die Stellung s_0 des Index ab.

3) Man legt einen Holzstab so in die Rinne B, dass sein eines Ende mit p coincidirt, schiebt B' an das andere Ende und liest die Stellung s_1 des Index ab; dann ist die Länge des Stabes $s_1 - s_0$.

Uebung 2. Man lege das Brettchen B' so ein, dass die Theilung auf der Seite II. gleichsinnig mit der Theilung auf A läuft. Wenn der Nullstrich des Nonius in die Verlängerung eines Theilstriches a (Fig. 2 ist $a = 40$) der Haupttheilung fällt (wenn er mit ihm „coincidirt"), so fallen zusammen erst wieder die Striche 10 des Nonius und $a + 9$ der Theilung (vergl. Fig. 3 a. f. S.).

Die Länge eines jeden Theiles des Nonius ist um $^1/_{10}$ Scalentheil kleiner als die Länge eines Scalentheiles der Haupttheilung. Schiebt man demnach den Nonius so weit vor, dass sein Strich 1 mit dem benachbarten Theilstrich $a + 1$ auf der Haupttheilung zusammenfällt, so hat man den Nonius um $^1/_{10}$ Scalentheil verschoben. Die Entfernung des Nullpunktes des Nonius von dem vorangehenden Strich a der Haupttheilung beträgt also $^1/_{10}$ Scalentheil. Coincidirt der zweite Theilstrich des Nonius mit dem entsprechenden Theilstrich der Haupttheilung, so beträgt diese Entfernung $^2/_{10}$ Scalentheile u. s. f.

Benutzt man also den Nullstrich des Nonius als Index, so ist man nicht mehr auf Schätzung bei der Beurtheilung von Bruchtheilen der Scalentheile angewiesen, sondern man beobachtet Coincidenzen. Fällt z. B. der 3. Theilstrich (Fig. 4) des Nonius mit einem Theilstrich der Haupttheilung zusammen, so beträgt die Länge, um welche der Anfang des Nonius über den vorhergehenden Punkt a der Theilung hinaus liegt, $^3/_{10}$ Scalentheile [1]).

Fig. 3.

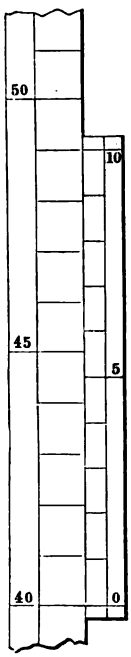
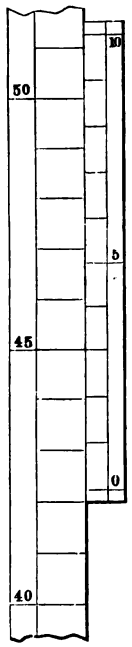


Fig. 4.



Coincidirt der 10. Theilstrich, so fällt auch die Null des Nonius mit einem Theilstrich zusammen, das Brettchen mit dem Nonius ist um einen ganzen Theilstrich gegen die Haupttheilung verschoben. Bei fortgesetztem Weitergleiten desselben kommen wieder der Reihe nach der erste, zweite, dritte u. s. w. Theilstrich des Nonius zur Coincidenz, die Zehntel der Verschiebung zählend, während die 0 des Nonius durch ihre Lage zwischen zwei Haupttheilstrichen die ganzen Scalentheile angiebt, um welche verschoben worden ist.

Daraus ergiebt sich folgende Regel beim Ablesen des Nonius:

Um die Lage eines mit einem Nonius von der hier vorausgesetzten Beschaffenheit verbundenen Apparattheiles zu bestimmen, ermittelt man zunächst die Lage des Nullpunktes des Nonius an der Haupttheilung. Derselbe zählt wie ein Index die ganzen Scalentheile. Zur Messung der Zehntel sucht man denjenigen Theilstrich des Nonius, der in der Verlängerung eines Theilstriches der Scala liegt; die Ziffer desselben

[1]) Fällt kein Theilstrich des Nonius mit einem Theilstriche der Haupttheilung zusammen, so wählt man denjenigen aus, bei dem die Coincidenz am nächsten stattfindet. Eventuell kann man auch noch Bruchtheile schätzen.

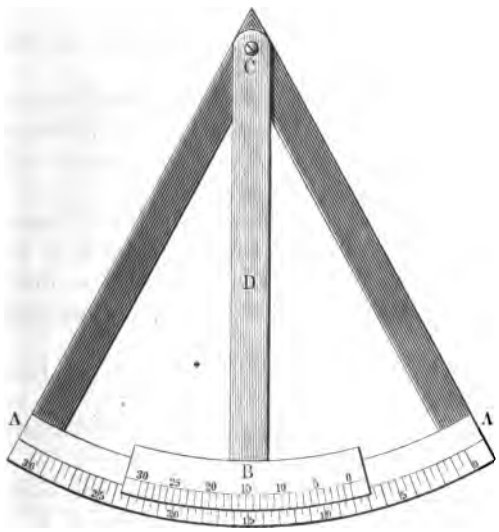
giebt die Zehntel Scalentheile. So zeigt der Nonius auf der Fig. 4 42,3 Scalentheile an.

Uebung 3. Messung von Stablängen mit dem Nonius: Holzstäbe werden in die Rinne *B* so eingelegt, dass das eine Ende derselben dem Nullpunkt der Scala entspricht. Gegen das andere Ende wird das Brettchen *B'* geschoben und die Stellung des Nonius abgelesen.

b) Der Kreisnonius (vergl. Fig. 5).

Apparat. Auf dem Kreisbogen *A* (Fig. 5) von circa 83 cm Radius ist eine Theilung von ganzen und halben Graden angebracht. (Zwei Gradstriche stehen bei der genannten Grösse des Modells ca. 28 mm von einander ab.) Auf diesem Kreisbogen [Limbus] (der etwa 30 Grade umfasst) gleitet ein zweiter, kürzerer *B* [Alhidade], welcher an einem um den gemeinschaftlichen Mittelpunkt beider *C* drehbaren Arm *D* befestigt ist. Auf diesem beweglichen Kreisbogen ist ein Bogenstück, welches auf dem Hauptkreise 29 Theile (14 $^1/_2$ Grade) lang ist, in 30 gleiche Theile getheilt, die von 0 anfangend in demselben Sinne wachsend beziffert sind, wie die Theile des Hauptkreises *A*. Jeder Theil der Scala auf *B*, des „Kreisnonius", ist daher um $^1/_{30}$ eines Theiles der Hauptscala kleiner als ein solcher der Hauptscala. Dieser stellt aber einen halben Grad oder einen Bogen von 30 Bogenminuten vor. Jeder Theil des Nonius ist also um $^1/_{30}$ von 30 Minuten, oder um eine Bogenminute kleiner als ein Theil der Scala [1]).

Fig. 5.



Uebung 1. Man stellt hier ähnliche Versuche wie mit dem linearen Nonius an. Man legt den Nonius so neben die Haupttheilung, dass sein Nullstrich auf einen Theilstrich der Haupttheilung fällt; dann ist der Strich 1 des Nonius von dem zunächst davorliegenden der Haupttheilung um eine Bogenminute entfernt, der zweite Strich um zwei

[1]) Wir haben es als sehr zweckmässig gefunden, bei allen Kreismessungen dieses Noniusmodell neben dem Apparate aufzustellen, damit sich der Praktikant stets die Art der Ablesung wieder vergegenwärtigen kann.

Minuten (2′), der dritte um 3′, der $n$te um n' entfernt. Schiebt man den Kreisbogen mit dem Nonius also so weit vor, dass der 1., 2., 3. u. s. w. $n$te Theilstrich mit dem entsprechenden Theilstrich der Haupttheilung zusammenfällt, so ist der Arm D um 1, 2, 3 u. s. w. n Bogenminuten gedreht worden. Der Nullpunkt des Nonius steht demnach von dem vorhergehenden Theilstrich der Haupttheilung um 1′, 2′, ... n' ab. Die Regel zum Ablesen des Kreisnonius lässt sich also so aussprechen:

Man sucht die Lage des Nullstriches des Nonius an der Haupttheilung auf; dieser Nullstrich zeigt wie ein einfacher Index die ganzen und halben Grade an. Dazu kommen noch einzelne Minuten, deren Zahl man findet, wenn man an dem Nonius entlang geht und denjenigen Theilstrich desselben aufsucht, welcher gerade mit einem Theilstrich der Haupttheilung zusammenfällt.

So zeigt der Nonius der Fig. 5 acht ganze Grade und 0 Minuten an.

Uebung 2. Man lese eine Reihe beliebiger Einstellungen des beweglichen Kreisbogens am Modelle ab.

Bemerkungen: 1) Liegen die einzelnen Theilstriche auf der Theilung sehr eng bei einander, so benutzt man zum Ablesen des Nonius eine Lupe, wobei aber darauf zu achten ist, dass der coincidirende Theilstrich gerade in der Mitte des Gesichtsfeldes liegt.

Meist ist die Lupe am Instrumente selbst befestigt. Durch Papierschirme oder kleine Spiegel wird das Licht auf die Theilung und den Nonius geworfen. Ist die Beleuchtung ungünstig, so muss man durch geeignet gehaltene Stücke weissen Papiers oder Streifen von Spiegelglas die Scala hinreichend beleuchten.

2) In der Regel sind sowohl am Anfang des Nonius wie am Ende noch einige Theilstriche ausserhalb der eigentlichen Scala desselben gezogen; dieselben dienen nur dazu, die Coincidenz besser zu beobachten, wenn dieselbe am Anfang oder am Ende der Noniusscala eintritt.

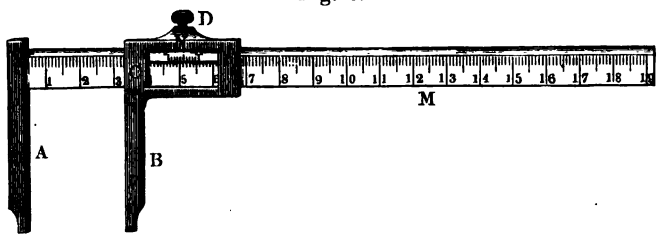
3) Wo die Bezifferung der Scalentheile des Theilkreises von einem bestimmten Nullpunkte an nach beiden Seiten wächst, wie dies z. B. an den Scalen mancher Saccharimeter der Fall ist, trägt der bewegliche Kreisbogen zwei Nonien, die von einem gemeinschaftlichen Nullpunkte aus nach beiden Seiten hin mit wachsenden Ziffern versehen sind. In diesem Falle ist bei einer bestimmten Stellung des beweglichen Kreisbogens derjenige Nonius zu benutzen, dessen Bezifferung mit der betreffenden Scala gleichlaufend ist.

2. Die Schublade.

Gebraucht wird: Die Schublade; ein 1 bis $1\frac{1}{2}$ dm langes Stück Messingrohr (ca. 4 cm Durchmesser), dessen Enden mit 1 und 2 bezeichnet sind. Beide Enden sind etwas breit gedrückt und die längsten und kürzesten Durchmesser derselben durch Feilstriche bezeichnet.

Apparat. Die Schublade (Fig. 6) besteht aus einem in Millimeter getheilten Maassstabe M, an den sich ein Arm A senkrecht ansetzt. Auf dem Maassstabe gleitet ein zweiter ähnlicher Arm B, dessen Gleitrahmen C durch die Druckschraube D an jedem beliebigen Punkte des Maassstabes festgestellt werden kann. Bei N trägt dieser Gleitrahmen auf einer abgeschrägten Fläche einen Nonius (s. diesen), welcher auf der Länge von 9 mm in 10 gleiche Theile getheilt ist und dadurch zehntel Millimeter abzulesen gestattet. Wenn die beiden Arme A und B an einander liegen, soll der Nullstrich des Nonius auf den Nullstrich der Theilung zeigen. Zeigt der Nonius in diesem Falle schon ein oder mehrere Zehntel an, so hat das Instrument einen sogenannten Indexfehler. Derselbe ist bei allen Messungen abzuziehen. Fällt beim genauen Aneinanderliegen der beiden Schenkel A und B der Nullstrich des Nonius etwas ausserhalb der Theilung, coincidirt also einer der

Fig. 6.



letzten Striche des Nonius, so hat der Indexfehler das entgegengesetzte Vorzeichen, er ist zu allen Angaben des Instrumentes zu addiren. Aehnliches gilt für alle folgenden Vorrichtungen.

Uebung. Ausmessung eines Cylinders und Berechnung des Rauminhaltes. Der Cylinder wird 1) seiner Länge L nach, dann 2) mit beiden Enden einmal mit dem grössten und kleinsten Durchmesser D_1 und D_2 zwischen die Arme gebracht; dieselben werden gleichmässig stark zusammengedrückt, der Schlitten C festgeschraubt und die Stellung des Nonius N abgelesen. Aus D_1 und D_2 ergiebt sich der mittlere Durchmesser $D = {}^1/_2 (D_1 + D_2)$ und der Halbmesser $R = {}^1/_2 D$. Der Inhalt des Cylinders ist nahezu $I = \pi R^2 L$.

Ist ein Indexfehler vorhanden, so ist diesem Rechnung zu tragen.

Beispiel: $L = 13{,}27$, $13{,}25$, $13{,}29$ cm; Mittel $= 13{,}270$ cm; Ende I: $D_1 = 3{,}94$, $3{,}92$, $3{,}96$ cm; Mittel $= 3{,}940$ cm. $D_2 = 3{,}76$, $3{,}73$, $3{,}80$ cm; Mittel $= 3{,}763$ cm. Das Verhältniss von D_1 und D_2 lässt über die Ellipticität des Cylinders ein Urtheil gewinnen. Mittel beider Durchmesser: 3,851 cm. Ende II ergab analog für den mittleren Durchmesser 3,427 cm. Die mittleren Durchmesser beider Enden geben einen Anhalt über die mittlere Verjüngung des Cylinders. Mittlerer Durchmesser $D = 3{,}639$ cm, $R = 1{,}819$ cm, $I = \pi R^2 L = 137{,}9$ cbcm (mit der vierstelligen Logarithmentafel gerechnet).

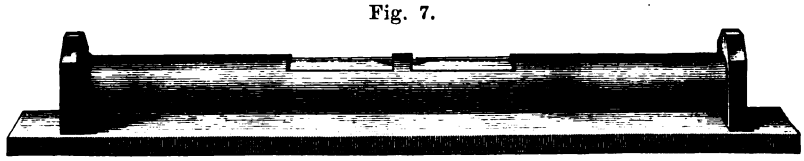
3. Libelle und Horizontalstellen einer Platte.

Gebraucht wird: Eine ebene Platte mit drei Fussschrauben. Eine Röhrenlibelle.

I. Princip. Eine Ebene ist horizontal, wenn zwei in ihr liegende, nicht parallele, gerade Linien horizontal sind.

II. Apparat. Zum Horizontalstellen einer Platte auf drei Fussschrauben 1, 2, 3 wird verwendet eine Röhrenlibelle oder Wasserwaage. Sie besteht aus einer auf einer Metallplatte befestigten Glasröhre (Fig. 7); dieselbe ist bis auf eine Luftblase mit Aether gefüllt und so auf der Metallplatte befestigt, dass, wenn diese vollkommen horizontal steht, die Blase genau in der Mitte der Röhre einspielt.

Fig. 7.



III. **Uebung.** 1) Die Wasserwaage wird so auf die Glasplatte gesetzt, dass sie parallel der Verbindungslinie zweier Fussschrauben 1 und 2 steht. Durch Drehen an beiden Schrauben in entgegengesetztem Sinne wird die Platte so lange geneigt, bis die Luftblase einspielt [1]).

2) Die Wasserwaage wird auf der Platte um 90^0 gedreht, so dass ihre Richtung auf der Linie 1 bis 2 senkrecht steht, und durch Schrauben an der dritten Fussschraube 3 wird wieder das Einspielen der Blase herbeigeführt.

3) Man bringt die Wasserwaage wieder in die Richtung 1, 2 und controlirt das Einspielen, resp. erzielt dasselbe von Neuem durch Drehen an den Schrauben 1 und 2, und fährt so fort, bis die Wasserwaage in der Lage 1, 2 und der dazu Senkrechten einspielt.

4) Jede Linie der Platte liegt jetzt horizontal, wovon man sich bei verschiedenen Stellungen der Wasserwaage überzeugt.

5) Dass die Libelle selbst richtig justirt ist, ersieht man daraus, dass bei einer Drehung der Libelle um 180^0 in der Ebene der Platte die Blase unverändert einspielt [2]).

---

[1]) Statt dieser Röhrenlibelle kann man die freilich weniger empfindliche Dosenlibelle verwenden. Dieselbe besteht aus einer Metallkapsel, welche oben mit einem nach einer flachen Kugelschale geschliffenen Glase bedeckt und mit so viel Flüssigkeit gefüllt ist, dass eine kleine Luftblase übrig bleibt. Steht die untere Fläche der Kapsel horizontal, so spielt die Blase genau in der Mitte ein. Man stellt diese Libelle auf die zu horizontirende Platte und dreht so lange an den Schrauben, bis die Blase einspielt.

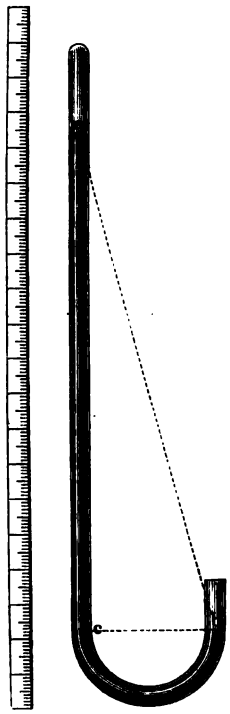
[2]) Bei feinen Röhrenlibellen wird die Glasröhre in der Hülse durch Stellschrauben festgehalten. Hat man die Platte durch Drehen an den Fuss-

4. Das Kathetometer.

Gebraucht wird: Kathetometer mit Loth; einfaches Heberbarometer ohne Scala; Globus von ca. 16 cm Durchmesser; weisse Tafel; ein in Millimeter getheilter Maassstab zum Aufhängen; ein Stativ hierzu; zwei Thermometer.

Bei physikalischen Bestimmungen hat man oft den verticalen Abstand zweier Punkte zu bestimmen, die nicht direct unter einander liegen, oder deren Lage ein Anlegen des Maassstabes nicht gestattet. Soll z. B. bei dem Heberbarometer (Fig. 8) die Höhendifferenz der beiden Kuppen a und b gemessen werden, so heisst dies, man will den Abstand der Kuppe a von dem Punkte c messen, welcher die Projection von b auf die Verticale ac ist. Man will also die Länge der Kathete ac in dem rechtwinkeligen Dreieck acb messen. Dazu dient das Kathetometer.

Fig. 8.



a) Einfachere Form des Kathetometers.

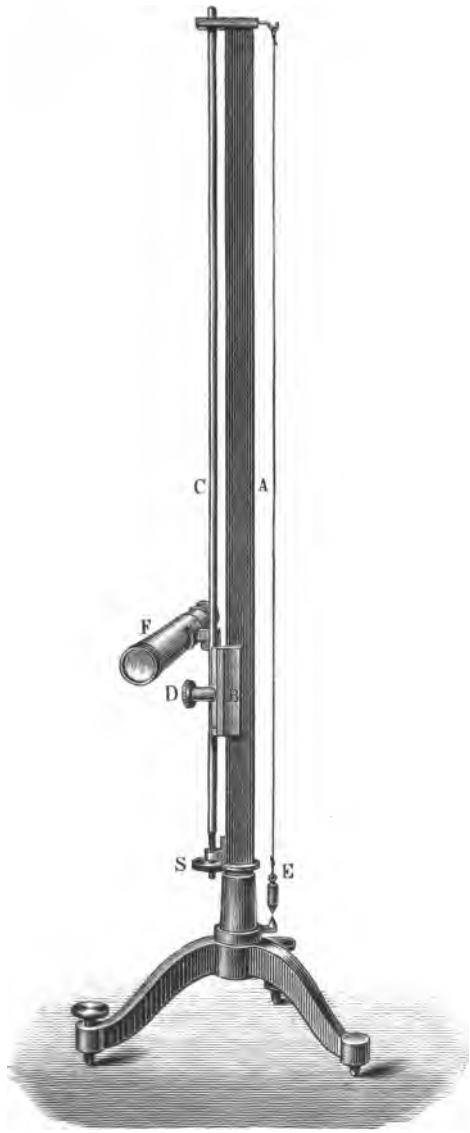
Apparat. Das Kathetometer besteht in der einfachsten Gestalt, in der es Fig. 9 (a. f. S.) zeigt, aus einer durch zwei Fussschrauben genau vertical zu stellenden Metallsäule A, längs deren der Schlitten B gleitet. Derselbe wird durch die Druckschraube D an dem von der Säule A getragenen Stab C in jeder beliebigen Höhe festgehalten; E ist das zum Senkrechtstellen dienende Loth. Auf B ist das Fernrohr F in einer Ebene drehbar, die genau senkrecht zur Säulenaxe liegt, also bei vertical stehendem Kathetometer der Horizontalebene entspricht. In der Nähe des zu messenden Abstandes ac (Fig. 8) wird ein in Millimeter getheilter Maassstab vertical aufgestellt oder aufgehängt. Um die Höhe ac zu messen, stellt man den im Fernrohr horizontal ausgespannten Faden zuerst auf den oberen Punkt a ein (eventuell unter Benutzung einer den Stab C fein bewegenden Schraube S), dreht dann das Fernrohr nach dem

---

schrauben so gestellt, dass die Blase einspielt, und zeigt sich beim Drehen der Libelle um 180° eine Abweichung, so ist die eine Hälfte derselben durch eine Aenderung der Plattenstellung, die andere dagegen durch eine Aenderung der Lage der Glasröhre in der Hülse vermittelst der Stellschrauben zu corrigiren. Oben wurde angenommen, dass die Libelle von der Form der Fig. 7 richtig ist.

Maassstabe hinüber, liest die Stellung des Fadens auf dem Maassstabe ab und verfährt ebenso an dem unteren Punkte c; die Differenz der beiden Ablesungen giebt die gesuchte Höhendifferenz.

Fig. 9.



b) Vollkommenere Form des Kathetometers (Fig. 10).

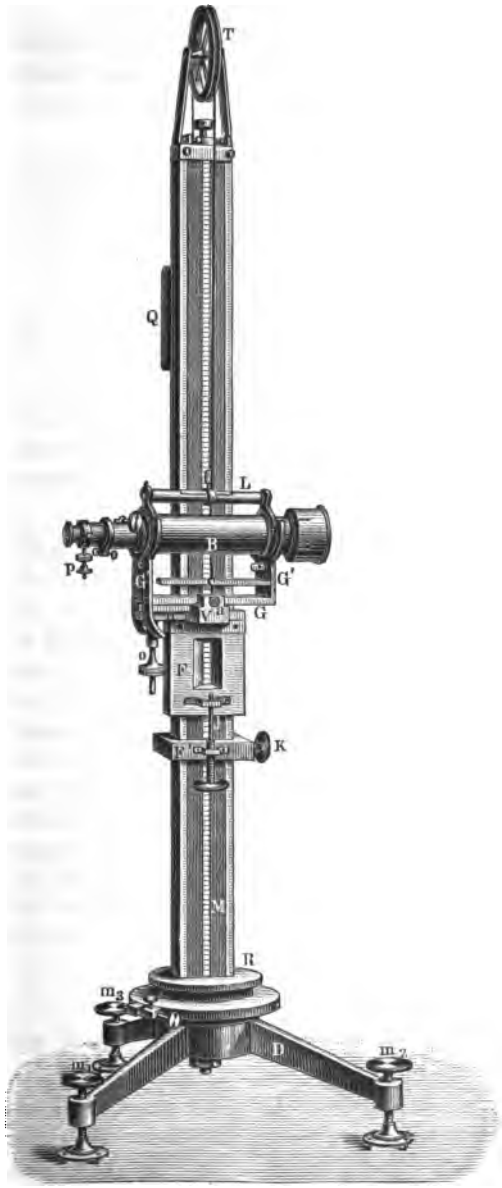
An der durch die Fussschrauben m_1, m_2, m_3 vertical zu stellenden, in dem Fusse D drehbaren Säule M gleiten die Schlitten F und F', von denen der letztere durch die Druckschraube K in jeder Höhe festgeklemmt werden kann. Mit der Mikrometerschraube J kann man, wenn F' feststeht, den Schlitten F heben oder senken; F trägt in den Gabeln G und G' das Fernrohr B; das Ganze lässt sich durch die Schraube o um den Stift a neigen.

Die Höhe des Fernrohres wird mittelst des in dem Ausschnitte von F befindlichen Nonius an dem in die Vorderfläche der Säule eingelegten und getheilten Silberstreifen M abgelesen. Dem Gewicht der Schlitten und des Fernrohres dient das Gewicht Q, das an einer über die Rolle T laufenden Schnur hängt, als Gegengewicht.

Das Kathetometer wird unter Benutzung der auf das Fernrohr gesetzten Libelle L vertical gestellt. Damit man mit dem Kathetometer Höhendifferenzen richtig messen kann, muss der Maassstab und die

Drehungsaxe der Säule, an der sich das Fernrohr verschiebt, genau vertical und die Fernrohraxe genau horizontal sein; dies ist bei dem ersten Kathetometer weniger vollkommen, bei dem zweiten vollkommen zu erreichen.

Fig. 10.



Uebung 1. Verticalstellen des Kathetometers. 1) Einfachere Form. Man stellt die untere Spitze des an das Kathetometer angebrachten Lothes *E* über die entsprechende an den Fuss befestigte Spitze, oder man visirt an dem Faden des Lothes entlang gegen eine Kante der Säule in einer Richtung, welche senkrecht zur Verbindungslinie der beiden Fussschrauben verläuft. Durch Drehen an beiden Schrauben bewirkt man, dass sich die anvisirte Kante dem Lothfaden parallel stellt. Hierauf visirt man in einer gegen die vorige um 90^0 gedrehten Verticalebene das Loth und eine Kante an und macht beide durch gleichsinniges und gleichstarkes Drehen an beiden Schrauben einander parallel.

2) Vollkommenere Form.

a) Verticalstellen der Drehungsaxe.

1) Man dreht die Säule so, dass die Fernrohraxe nahezu parallel der Verbindungslinie zweier Fussschrauben 1 und 2 steht, und bringt die

Libelle durch gleichzeitiges Drehen an beiden Fussschrauben zum Einspielen.

2) Man dreht die Säule um 180°. Spielt die Libelle nicht ein, so corrigirt man die Hälfte der Abweichung an der Schraube *o*, die andere durch die Fussschrauben 1 und 2, welche man entgegengesetzt dreht. Die Richtigkeit der Einstellung controlirt man durch Zurückgehen in die ursprüngliche Stellung, bezw. wiederholt das Verfahren noch einmal u. s. f.

3) Man dreht die Säule um 90°, so dass die Fernrohraxe senkrecht zur Verbindungslinie der Fussschrauben 1 und 2 steht und dreht an der Schraube 3, bis die Libelle einspielt. Dieselbe spielt dann auch in der um 180° verschiedenen Säulenstellung ein.

b) Horizontalstellen der Fernrohraxe.

4) Man bringt in einiger Entfernung von dem Kathetometer eine Marke an und stellt das Fernrohr auf diese ein. Nun hebt man die Libelle ab, nimmt das Fernrohr aus seinem Lager, legt es in entgegengesetzter Richtung wieder ein, so dass Objectiv und Ocular ihren Ort vertauschen, dreht die Säule um 180° und visirt wieder nach der Marke. Eventuelle Abweichungen sind zur Hälfte an dem Fernrohr zu corrigiren.

Uebung 2. Messung der Höhe H des Barometerstandes. Ein einfaches, aus einer umgebogenen, mit Quecksilber gefüllten, etwa 6 mm weiten Glasröhre bestehendes Heberbarometer (vergl. Fig. 8, S. 11), welches auf einem weiss angestrichenen Brettchen befestigt ist, wird der Reihe nach in verschiedenen Höhen aufgehängt. Daneben wird der Maassstab lothrecht befestigt und das Kathetometer davor auf einem Tisch in solcher Entfernung aufgestellt, dass man mit dem Fernrohre scharf auf die Kuppen einstellen kann. Nachdem die Säule des Kathetometers mit Hülfe der Fussschrauben genau vertical gestellt ist, liest man für jede Lage des Barometers (das nicht senkrecht zu hängen braucht) die Höhe der oberen (*a*) und unteren (*b*) Kuppe einige Male ab, indem man nach Einstellung des horizontalen Fadens auf die Kuppen bei der Form *a* das Fernrohr auf den Maassstab dreht. Dann ist $H = a - b$.

Beispiel: a = 872,3, 871,9, 872,5 mm; Mittel = 872,23 mm.
b = 132,1, 132,4, 132,0 mm; Mittel = 132,17 mm.
$H = a - b$ = 740,06 mm.

Reduction des Druckes einer Quecksilbersäule von t^0 auf denjenigen einer solchen von 0°.

Die direct an dem Maassstabe erhaltene Ablesung des Barometers oder irgend einer Quecksilbersäule h ist in zweierlei Hinsicht zu corrigiren:

1. in Bezug auf die Ausdehnung des Quecksilbers. Ist die Temperatur des Quecksilbers t^0, so ist sein specifisches Gewicht s_t entsprechend der Ausdehnung von 0° bis t^0 kleiner als das bei 0° s_0. Ist α der cubische

Ausdehnungscoëfficient, so wird das Volumen 1 zu dem Volumen $1 + \alpha t$, das specifische Gewicht $s_t = s_0/(1 + \alpha t)$ und der Säule h von t^0 würde eine Säule

$$h_0 = \frac{h}{1 + \alpha t}$$

bei 0^0 entsprechen, oder, da $\alpha = 0{,}000181$ klein ist:

$$h_0 = h\ (1 - 0{,}000181\, t).$$

2. Die Höhe h ist ferner an dem Maassstabe nicht bei der Temperatur 0^0 abgelesen, für die derselbe getheilt ist. Ist β der lineare Ausdehnungscoëfficient des Maassstabes, so ist die Anzahl der Theilstriche bei 0^0, die auf die Strecke h gehen: $h' = h\ (1 + \beta t)$.

Mit $1 + \beta t$ müssen wir also den obigen Werth von h noch multipliciren. Bei Messing ist $\beta = 0{,}000019$, bei Glas 0,0000085. Die hierdurch hervorgerufenen Correctionen sind indessen klein.

Uebung 3. Bestimmung des Durchmessers D einer grösseren Kugel. Ein Globus wird vor einem weissen Papierschirm aufgestellt, daneben der verticale Maassstab und davor das einfache Kathetometer. Man stellt das Fernrohr so ein, dass der horizontale Faden des Fadenkreuzes den untersten und obersten Punkt des Globus berührt und bestimmt diese Lagen am Maassstabe; sie seien o und u, dann ist der Durchmesser

$$D = o - u.$$

Beispiel:	Oberer Rand:	Unterer Rand:
	737,2	581,2
	738,4	580,9
	738,0	580,3
	737,5	581,0
	$o = 737{,}77$	$u = 580{,}85$
	$u = 580{,}85$	
	$D = o - u = 156{,}92$	

Der Radius $R = \frac{1}{2} D$ ist also 78,46 mm.

Ueber die Bestimmung des Krümmungsradius mit dem Sphärometer siehe unter Sphärometer.

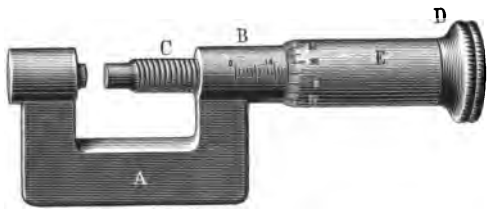
5. Das Mikrometer.

Gebraucht wird: Das Mikrometer; eine circa 3 mm dicke Glasplatte (von ungefähr 4×4 cm Oberfläche); ein Absorptionsgefäss mit Einlegeplatte (sogenanntem Schulz'schen Körper) von der unten skizzirten Form. Der Trog ist noch nicht zusammengekittet.

Apparat. Das Mikrometer (Fig. 11, a. f. S.) besteht aus dem Bügel A, der bei B die Mutter der Mikrometerschraube C trägt. Die

Schraube wird durch Drehen an dem gereifelten Griffkopfe *D* bewegt. Derselbe ist nicht ganz fest mit der Schraube verbunden, sondern dreht sich vermöge einer besonderen Führung, ohne die Schraube zu bewegen, weiter, wenn letztere an einen Gegenstand angedrückt ist. Diese Einrichtung hat zur Folge, dass die Schraube immer nur mit einer gewissen Stärke angedrückt werden kann; ist der Maximaldruck erreicht, so dreht sich bei dem weiteren Drehen der Kopf allein weiter, ohne die Schraube fester zu schrauben.

Fig. 11.



Die Ganghöhe der Schraube beträgt genau 1,00 mm. Mit ihr ist die Hülse *E* fest verbunden, deren Umfang an dem unteren Ende in 100 gleiche Theile getheilt ist. Auf *B* ist eine Längstheilung in Millimetern angebracht. Wenn die Schraube sich gerade gegen das Widerlager legt, also die Dicke 0 eingeschaltet ist, steht der Rand der Kuppe *E* auf dem Nullstrich der Längstheilung, und der Nullpunkt der Theilung an ihrem Umfang auf einem längs *B* verlaufenden Längsstrich.

Bei einer beliebigen Stellung der Schraube giebt die Längsscala die ganzen Millimeter, die Theilung der Schraubenkappe die Hundertstel, wobei die Längslinie als Index verwendet wird.

Uebung 1. Ausmessen der Dicke einer Glasplatte. Durch mehrmaliges Anschrauben von *C* an das Widerlager wird der Indexfehler *I* des Instrumentes bestimmt. Dann wird die Platte an mehreren Stellen, die passend vertheilt sind, zwischen die Mikrometerschraube und ihr Widerlager gebracht und die Dicke *D'* an der Scala und Trommel abgelesen; die Tausendstel-Millimeter können geschätzt werden. Am Schlusse ist der Indexfehler nochmals zu controliren.

Beispiel: $I = 0{,}008$ mm; $D' = 3{,}040$, $3{,}045$, $3{,}054$, $3{,}053$ mm. Die Platte ist nicht ganz planparallel; für ihre mittlere Dicke erhält man: $D' = 3{,}048$. Wahre Dicke $D = D' - I = 3{,}040$ mm.

Uebung 2. Calibriren eines Absorptionsgefässes (Fig. 12). Bei Untersuchung der Absorption von Licht- und Wärmestrahlen durch Flüssigkeiten vergleicht man die Wirkung zweier verschieden dicker Schichten mit einander, von denen die weniger dicke durch Einlegen einer planparallelen Glasplatte (Fig. 13) des sogenannten Schulz'schen Körpers in einen durch planparallele Wände begrenzten Glastrog erzeugt wird.

Fig. 12.

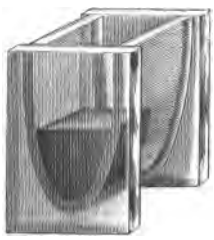
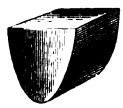


Fig. 13.



Es ist die Dicke beider Schichten zu bestimmen. Dazu ist von dem Glastrog die Vorder- und Rückwand loszulösen.

Schema und Beispiel:

	mm
Indexfehler D_1	0,005
Dicke des Schulz'schen Körpers an drei verschiedenen Stellen	4,795 4,784 4,834
Mittel A_1 = ...	4,804
Indexfehler	0,002
J_1 = mittlerer Indexfehler	0,004
Dicke $D_1 = A_1 - J_1$ = ...	4,800
Dicke des Glastroges ohne Vorder- und Rückwand an drei verschiedenen Stellen	8,642 8,635 8,687
A_2 = ...	8,655
Indexfehler	0,006
J_2 = mittlerer Indexfehler	0,005
Dicke $D_2 = A_2 - J_2$ = ...	8,650

Für die Untersuchung ist vor Allem wichtig:

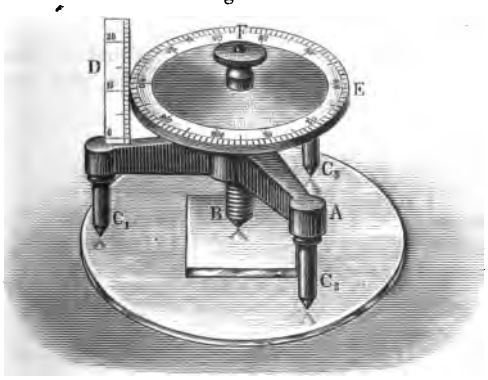
$$A = D_2 - D_1 = 8{,}650 - 4{,}800 = 3{,}850$$

6. Das Sphärometer.

Gebraucht wird: Das Sphärometer; eine ebene Glasplatte von etwa 10 × 10 cm Oberfläche; die bei dem „Mikrometer" schon benutzte Glasplatte; eine senkrecht zur optischen Axe geschnittene planparallele Quarzplatte; ein Globus von etwa 16 cm Durchmesser, wie er beim „Kathetometer" verwendet wird; eine grössere Glaslinse von etwa 18 cm Durchmesser.

Apparat. Das Sphärometer (Fig. 14) dient einerseits zur Bestimmung der Dicke von Platten, andererseits zur Messung des Radius einer kugelförmigen Oberfläche, von der nur ein Stück gegeben ist, des sogenannten Krümmungsradius. Es besteht aus einem dreifüssigen Gestell A, durch welches eine genau geschnittene Mikrometerschraube B geführt ist. Die drei Füsse des Ge-

Fig. 14.



stelles C_1, C_2, C_3 laufen in Stahlspitzen aus, die gleichweit von einander entfernt sind. Die ganzen Umdrehungen der Schraube werden an dem Maassstabe D abgelesen, die Bruchtheile an der in 100 gleiche Theile getheilten Scheibe E; an dem gereifelten Knopfe F wird die Schraube mit der Scheibe bewegt. Die Messungen mit diesem Instrumente geschehen in der Weise, dass man es mit den drei Spitzen C auf die zu untersuchende Fläche stellt und dann die Spitze D langsam so weit herunter schraubt, bis sie eben mit der Fläche in Berührung kommt. Dies macht sich sofort daran bemerkbar, dass ein Wackeln des Instrumentes und ein Mitgehen desselben im Sinne der Drehung eintritt. Hierauf ist bei der Einstellung zu achten.

Die Indexcorrection (vergl. unter „Schublade", S. 9) erhält man, wenn man das Instrument auf eine ebene Glasplatte aufsetzt.

Uebungen. A. Aichung des Sphärometers. Ist die Schraube nicht schon so geschnitten, dass ihre Ganghöhe genau ein Millimeter beträgt, so muss man die einer ganzen Umdrehung entsprechende Verschiebung, die Ganghöhe, besonders bestimmen.

1) Man setzt das Sphärometer auf eine Spiegelglasplatte mit den drei Füssen C und dreht die Schraube B so tief herunter, bis ihre Spitze gerade die Platte berührt. Ablesung: J, Indexcorrection.

2) Man dreht die Schraube zurück und legt ein Stück einer planparallelen Glasplatte unter dieselbe auf die Spiegelglasplatte und schraubt wieder bis zur Berührung herunter. Ablesung: A.

Die so gemessene Dicke D' der Platte ist $D' = A - J$ Scalentheile. Durch das Mikrometer bestimmen wir die Dicke der Platte zu D mm. Dann ist der Reductionsfactor des Instrumentes (Ganghöhe der Schraube) gleich:

$$c = \frac{D}{D'} = \frac{D}{A-J} \text{ mm.}$$

Mit c ist jede mit dem Sphärometer gemessene Dicke zu multipliciren, um sie in Millimetern ausgedrückt zu erhalten. Bei jeder genauen Messung muss wegen der Ausdehnung auch noch die Temperatur berücksichtigt werden.

Beispiel: $J = 0{,}002,\ 0{,}004,\ 0{,}003,\ 0{,}002,\ 0{,}003,\ 0{,}003$; Mittel $= 0{,}0028$. Bei dem Zwischenlegen einer Platte von $D = 3{,}040$ mm (siehe oben unter „Mikrometer") mittlerer Dicke wurde erhalten:

	A an der		
1. Ecke:	2. Ecke:	3. Ecke:	4. Ecke:
2,663	2,665	2,671	2,673
2,665	2,668	2,670	2,673
2,664	2,665	2,672	2,675
2,664	2,666	2,671	2,674

Die Platte ist also nicht ganz planparallel, sondern schwach keilförmig nach den Ecken 3 und 4 hin verdickt.

Gesammtmittel: 2,669.

$A - J = 2{,}666$ = mittlere Dicke in Scalentheilen.

$$c = \frac{D}{A-J} = \frac{3{,}040}{2{,}666} = 1{,}103.$$

B. Messung der Dicke einer Platte. Hierzu wird eine senkrecht zur optischen Axe geschnittene Quarzplatte benutzt, deren Dicke später zur Ableitung des Drehungsvermögens von Quarz bekannt sein muss. Die Ausführung gestaltet sich wie bei A. Die in Scalentheilen ermittelte Dicke ist noch mit dem Reductionsfactor ($c = 1{,}103$) zu multipliciren.

Beispiel: $J = 0{,}002,\ 0{,}003,\ 0{,}002$; Mittel $= 0{,}0023$.

Mitte der Platte:

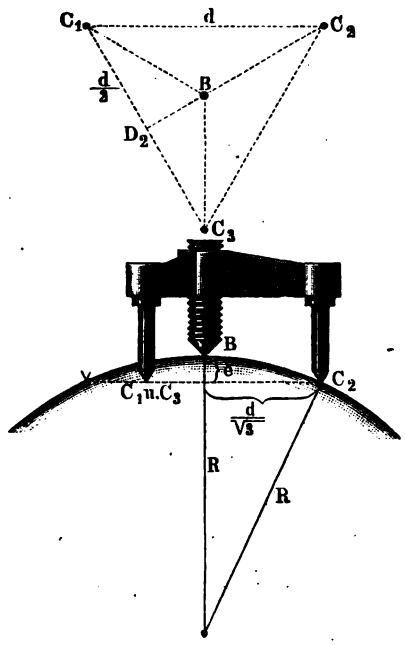
$A = 2{,}722,\ 2{,}720,\ 2{,}723,\ 2{,}724,\ 2{,}721$; Mittel $= 2{,}7220$.

Dicke $D' = A - J = 2{,}7197$ Scalentheile,

$D = D'\ c = 2{,}7197 \times 1{,}103 = 2{,}9998$ mm.

C. Messung des Radius R einer Kugel (vergl. Fig. 15). Die Entfernung der drei Spitzen C_1, C_2, C_3 von einander sei d; $C_1 C_2 C_3$ ist ein gleichseitiges Dreieck, die Mitte desselben B theilt jede Höhe, z. B. $C_2 D_2$ in dem Verhältnisse von $1:2$ $\left(D_2 B = \frac{1}{2} B C_2,\ \text{oder}\ B C_2 = \frac{2}{3} D_2 C_2\right)$. Da $C_1 D_2 = \frac{1}{2} d$ ist, so ist $D_2 C_2 = \sqrt{d^2 - \frac{1}{4} d^2} = \frac{1}{2} d \sqrt{3}$, d. h. die Entfernung der beweglichen Spitze von den drei festen beträgt $\frac{\sqrt{3}}{3} d = \frac{1}{\sqrt{3}} d$, wenn sie in der Ebene der drei festen Spitzen liegt.

Fig. 15.



Wird das Sphärometer auf eine Kugeloberfläche aufgesetzt, so muss die bewegliche Spitze um einen gewissen Betrag e heraufgeschraubt werden, wenn alle vier Spitzen wieder die Kugel gleichzeitig berühren sollen.

Wie aus der Fig. 15 hervorgeht, welche einen Querschnitt durch die Kugel mit dem aufgesetzten Sphärometer darstellt, ist

$$R^2 = (R - e)^2 + \frac{d^2}{3}.$$

Hieraus folgt:

$$2Re = e^2 + \frac{d^2}{3}, \quad \text{oder} \quad R = \frac{e}{2} + \frac{d^2}{6e}.$$

1) Man bestimmt die Indexcorrection J in der oben angegebenen Weise.

2) Man setzt das Sphärometer auf die Kugeloberfläche, schraubt die Spitze B so weit zurück, bis alle vier Spitzen die Kugel berühren, und liest ab; Ablesung E.

3) Man setzt das Sphärometer mit zwei Spitzen C auf einen Maassstab und liest die Entfernung d ab.

Durch Multipliciren der Differenz $E - J$ mit der Constanten c erhält man e in Millimeter ausgedrückt und hieraus und aus d den Krümmungsradius R nach der oben stehenden Formel.

Beispiel: An einem Globus (vergl. S. 15) ergab sich: $e = 13{,}60,\ 13{,}42,\ 13{,}47$ Scalentheile; Mittel $= 13{,}497$ Scalentheile; Indexcorrection $I = 0{,}003$; also $e = 13{,}494 \times 1{,}103 = 14{,}884$ mm; d war gleich 80,0 mm. Also $R = 7{,}44 + 71{,}68 = 79{,}12$ mm.

D. Messung der Krümmungsradien einer Linse. In der Optik spielen durchsichtige Körper eine grosse Rolle, welche von Kugelflächen begrenzt werden, die sogenannten „Linsen". Man benutzt das Sphärometer dazu, die Krümmungen der Linsenflächen zu bestimmen, welche für die optischen Eigenschaften derselben von Bedeutung sind. Das Verfahren ist das unter C. angegebene. Man bestimme die Krümmung beider Linsenflächen.

Beispiel: $I = 0{,}004$; $e' = 2{,}874,\ 2{,}878,\ 2{,}870$; Mittel $= 2{,}874$; $e = e' - I = 2{,}870$ Scalentheile $= 3{,}166$ mm; $d = 80{,}0$ mm; also $R = 1{,}583 + 336{,}9 = 338{,}5$ mm.

Aehnlich für die andere Fläche.

7. Der Fühlhebel.

Gebraucht wird: Das Fühlhebelmodell. Ein parallelepipedisches Messingstück von $5 \times 10 \times 20$ mm Volumen.

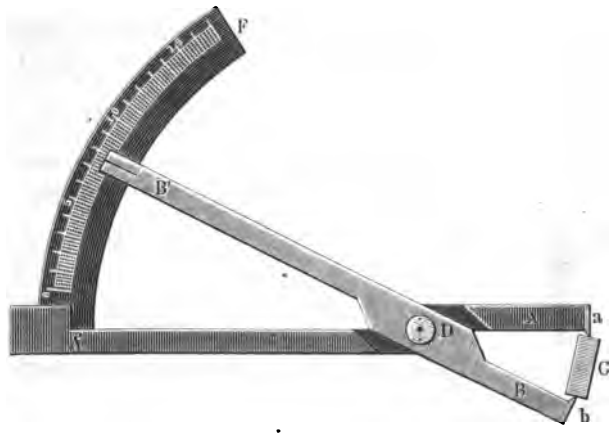
Zur Messung kleiner Längen, z. B. der Dicken von Drähten und Platten, verwendet man den Fühlhebel, von dem Fig. 16 ein einfaches Modell darstellt.

Apparat. Zwei Schneiden a und b, zwischen die der zu messende Gegenstand C gebracht wird, sind an den Enden der kürzeren Arme DA und DB zweier um denselben Drehpunkt D beweglicher ungleicharmiger Hebel AA' und BB' von 30 cm Länge befestigt. Mit dem Stabe AA' ist der Kreisbogen $A'F$ fest verbunden, welcher eine Kreistheilung trägt, längs deren sich das Ende B' des anderen bei B' mit einem Index versehenen Stabes BB' bewegt. Die längeren Schenkel DA' und DB'

sind fünfmal so lang als die kürzeren AD und BD. Jede Verschiebung der Schneide b wird demnach durch den Index B' auf dem Kreisbogen $A'F$ in fünffacher Grösse angezeigt.

Die Theilung auf $A'F$ ist so gezeichnet, dass bei directer Berührung der Schneiden a und b der Index B' auf den Nullpunkt zeigt, bei Einschaltung von Platten oder Drähten von 1, 2, 3 u. s. w. Millimeter auf den 1., 2., 3. u. s. w. längeren Theilstrich. Die Abstände

Fig. 16.



dieser die ganzen Millimeter anzeigenden Theilstriche sind durch kürzere Striche in fünf gleiche Theile getheilt; man kann mit dieser Vorrichtung also noch die Fünftel eines Millimeters direct messen.

Uebung. Aus der Messung der drei Kanten eines parallelepipedisch gestalteten Messingklötzchens soll der Inhalt V desselben bestimmt werden. Sind die Kantenlängen a, b, c mm, so ist $V = abc$ cbmm.

Beispiel: Kante $a = 5{,}0$ mm; Kante $b = 10{,}0$ mm; Kante $c = 20{,}0$ mm. Inhalt $V = 5 \times 10 \times 20 = 1000$ cbmm $= 1$ cbcm.

8. Die Spiegelablesung.

Gebraucht wird: Modell der Spiegelablesung; Messingklötzchen.

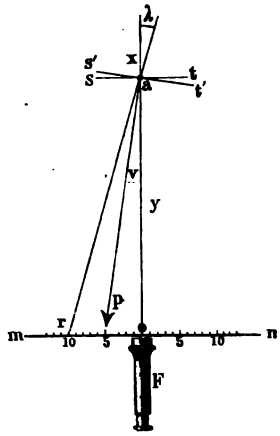
I. Princip. Die Spiegelablesung dient dazu, kleine Drehungen einer Axe mit grosser Genauigkeit zu messen.

Nach dem Reflexionsgesetze wird ein auf einen Spiegel fallender Strahl so reflectirt, dass der reflectirte Strahl einen ebenso grossen Winkel mit der Spiegelnormale bildet, wie der einfallende Strahl (s. w. u.). Dreht sich daher ein Spiegel und mit ihm seine Normale um einen bestimmten

Winkel, so dreht sich bei unveränderter Richtung des einfallenden Strahles der reflectirte Strahl um den doppelten Winkel.

Steht im Abstande y (Fig. 17) vor einem Spiegel $s\,t$ eine Scala $m\,n$, die in der Mitte einen Spalt bei dem Theilstrich $o = \varepsilon_1$ hat, und vor diesem eine Petroleumlampe, so werden die einfallenden Strahlen in die ursprüngliche Richtung reflectirt, wenn die Spiegelnormale parallel zu den auffallenden Strahlen steht.

Fig. 17.



Dreht sich der Spiegel um einen Winkel v, so wird der in der Richtung $o\,a$ auf den Spiegel fallende Strahl in einer Richtung $a\,r$ reflectirt, so dass

$$\measuredangle\, o\,a\,r = 2\,v$$

ist; auf der Scala erscheint bei r eine Lichtlinie. Aus der Figur folgt ohne Weiteres:

$$tg\ 2\,v = \frac{o\,r}{y}.$$

Aus y und $o\,r$ bestimmt man mittelst der Tabellen der trigonometrischen Functionen $2\,v$. Liest man bei zwei Winkeln v_1 und v_2 die Verschiebungen der Scala ab $o\,r_1$ und $o\,r_2$, so ist:

$$tg\ 2\,v_1 = \frac{o\,r_1}{y}, \qquad tg\ 2\,v_2 = \frac{o\,r_2}{y},$$

also:

$$\frac{tg\ 2\,v_2}{tg\ 2\,v_1} = \frac{o\,r_2}{o\,r_1},$$

und da für kleine Winkel die Tangenten den Winkeln proportional sind:

$$v_2 : v_1 = o\,r_2 : o\,r_1.$$

Die Drehungswinkel verhalten sich also wie die Verschiebungen auf der Scala.

Bei der Spiegelablesung selbst verfährt man gewöhnlich etwas anders.

Unter oder über einem Fernrohr ist eine beleuchtete Millimeterscala mit schwarzen Strichen auf weissem Grunde angebracht. Das Fernrohr wird so eingestellt, dass man das Spiegelbild der Scala scharf sieht.

Die Zahlen der Scala müssen in Spiegelschrift geschrieben sein, damit sie in dem Fernrohr richtig erscheinen. Steht das Fernrohr senkrecht zu dem Spiegel, so sieht man den gerade unter dem Objectiv befindlichen Strich 0 durch das Fadenkreuz gehen, bei einer Drehung des Spiegels sieht man die Spiegelbilder seitlich gelegener Theile, also etwa den Theilstrich 10. Das Ende der Normale des Spiegels hat sich dann nahezu um $\frac{10}{2} = 5$ Theilstriche verschoben. Sieht man etwa den Theil-

strich z_2 und bei der Anfangslage in der Mitte den Theilstrich z_1, so ist

$$tg\,2v = \frac{z_2 - z_1}{y}.$$

Die Spiegelablesung kann man zur Messung kleiner Längenänderungen verwenden.

Wir haben in Nr. 7 gesehen, wie man durch einen Fühlhebel die kleinen Verschiebungen des Endes eines Stabes vergrössern kann. In ähnlicher Weise verfährt man hier, nur ersetzt man den Fühlhebel durch einen Lichtstrahl.

Ist mit der Axe des Spiegels ein senkrecht zu derselben stehender Stab von der Länge x verbunden und verschiebt man dessen Ende um eine kleine Strecke λ, so verschiebt sich der Endpunkt der Normalen p auf dem Spiegel von der Länge y auf der Scala sehr nahe um

$$\frac{\lambda y}{x},$$

dagegen das Ende r des reflectirten Strahles, d. h. das Bild des Spaltes, wenn die Drehungen klein und der Abstand von Spiegel und Scala gross ist, um eine Strecke

$$q = \frac{2\,\lambda\,y}{x},$$

es ist also

$$\lambda = \frac{q\,x}{2\,y}.$$

Lesen wir mit Fernrohr und Scala ab und sehen wir in der Anfangslage den Theilstrich z_1, nach der Verschiebung den Theilstrich z_2, so ist

$$q = z_2 - z_1,$$

also ist

$$\lambda = \frac{(z_2 - z_1)\,x}{2\,y}.$$

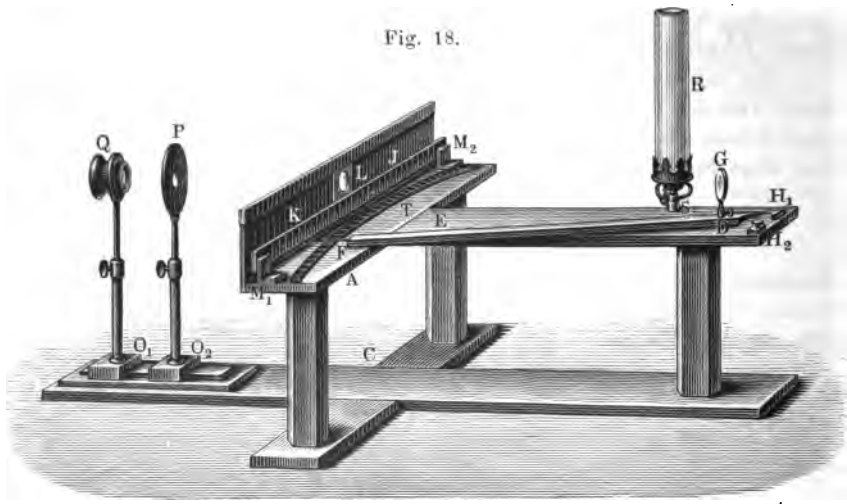
Es ist übrigens ganz gleichgültig, ob bei dem Fühlhebel die beiden Arme in ihrer gegenseitigen Verlängerung liegen oder nicht, ebenso ob die Spiegelnormale in der Verlängerung von x liegt, erstere muss aber zu Beginn des Versuchs durch den Punkt der Scala gehen, der gerade über dem Objectiv liegt.

II. Apparat (Fig. 18, a. f. S). Auf dem Tischchen A, welches auf dem Grundbrette C steht, dreht sich der Hebel E um den Punkt D. Bei H_1 trägt sein kürzerer Arm eine Schneide, der eine auf dem Tische A befestigte zweite, H_2, gegenübersteht. Bei D ist an dem Hebel der Spiegel G befestigt. Der längere Hebelarm trägt den Zeiger F, der an der Kreistheilung T die Winkeldrehung von E anzeigt. An dem durch die Stützen M_1 und M_2 getragenen Brettchen J ist auf der dem Spiegel G zugekehrten Seite eine zweite Scala K angebracht; die Nullpunkte beider Scalen liegen in der Mitte von J, wo das Brettchen durchbohrt ist und

in dieser Durchbohrung die Sammellinse L (20 cm Brennweite) trägt. GH ist 5, DL 50 cm lang; die Scala T ist in Grade getheilt, auf der Scala K ist die Länge eines Scalentheiles gleich der Länge des Bogens, der einem Grade auf T entspricht.

In der Richtung DL bewegen sich auf einer Schwalbenschwanzführung die Schlitten O_1 und O_2, von denen der erste die Linse Q oder die Lampe R, der zweite das mit einem vertical ausgespannten Draht

Fig. 18.



versehene Diaphragma P trägt. QPL entspricht einem astronomischen Fernrohr.

Wenn die Lampe nicht auf O_1 steht, ist sie in den Träger S zu stellen.

Uebung 1. Verhältniss der Tangente zum Bogen. 1) Man stellt den Zeiger F auf den Nullstrich der Theilung T und visirt vertical von oben an der Theilung K herab; auch auf dieser zeigt der Zeiger auf Null.

2) Man dreht den Hebel E um 1, 2, 3 u. s. f. Grade und liest in der angegebenen Weise die entsprechenden Stellungen des Zeigers F an der Scala K ab: Anfangs stimmen die Bogenlängen sehr nahe mit den Scalentheilen auf K überein, dann wachsen diese schneller. Diese Scalentheile auf K stellen die trigonometrischen Tangenten der zugehörigen Bögen auf T dar. Man erhält so z. B.:

$\alpha =$	1	2	3	4	5	10	15	20 Grade,
$tg =$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	10,1	15,4	20,9 Scalentheile.

Für kleine Winkel kann man also für die Tangente den Bogen setzen; ferner ist die Tangente des doppelten Winkels bei kleinen Winkeln sehr nahe doppelt so gross, wie die Tangente des einfachen Winkels.

Bemerkung. Vielfach werden die Winkel nicht nach Graden, Minuten und Secunden gemessen, sondern nach der Länge der Bögen, die ihnen entsprechen. Einem Winkel von 360 Graden entspricht der volle Kreisumfang, also die Länge $2\pi R$, wenn R der Radius des Kreises ist, in dessen Mittelpunkt der Scheitel des Winkels liegt. Der Winkel, dem ein Bogen von der Länge des Radius 1 entspricht, ist also gleich $360/2\pi = 57{,}296^0$. Zählt man die Bögen auf einem Kreise vom Radius 1, so entspricht dem Winkel von α^0 ein Bogen von der Länge $\alpha/57{,}296$. Umgekehrt entsprechen der Bogenlänge s des Kreises vom Radius Eins $57{,}296 \times s$ Grade.

Uebung 2. Gang der Strahlen bei der Spiegelablesung. 1) Man stellt die Lampe R auf O_1 auf, rückt den Zeiger F auf Null und schiebt so lange O_2 vor und zurück, bis ein scharfes Bild des Drahtes auf der Scala K entsteht. Die an dem Draht in P vorbeigehenden Strahlen fallen in der Richtung LD auf den Spiegel, werden hier reflectirt (wobei der Zeiger E immer die Richtung des Einfallslothes angiebt) und werden durch die Wirkung der Sammellinse L zu einem Bilde auf der Scala vereinigt.

2) Man dreht den Hebel E: die reflectirten Strahlen drehen sich um den doppelten Winkel, wenn sich der Spiegel um den einfachen dreht.

Man notirt die Lagen z des Bildes auf der Scala K für verschiedene Stellungen des Zeigers F auf T.

Beispiel:	$\alpha =$	0	2	5	10	Grade,
	$z =$	0,0	4,0	10,1	20,9	Scalentheile.

3) Man nimmt die Lampe von O_1, setzt sie in S ein, und bringt die Linse Q auf den Schlitten O_1. Man erblickt durch dieselbe die Scala K. Durch Drehen des Spiegels überzeugt man sich davon, dass man an dem Drahte in P immer den Theilstrich z erblickt, der nach dem Vorigen dem Winkel α entspricht.

Uebung 3. Ausmessung eines Messingklötzchens. Die Hebellängen H_1D und DF verhalten sich wie 1 : 10. Jede zwischen H_1 und H_2 befindliche Strecke erscheint also am Gradbogen in zehnfacher Länge.

1) Man bringt zwischen die Schneiden H_1 und H_2 eine Glasplatte, deren Dicke d mm man mit dem Mikrometer bestimmt hat und liest, durch Q blickend, die entsprechende Scalenstellung z ab. Dann entsprechen einem Millimeter zwischen H_1 und H_2 $z/d = k$ Scalentheile.

2) Man legt ein parallelepipedisches Messingklötzchen in seinen drei verschiedenen Kantenrichtungen zwischen die Schneiden und liest, durch Q blickend, an der Scala K ab: z_1, z_2, z_3. Dann sind die Kantenlängen: $a = z_1/k$, $b = z_2/k$, $c = z_3/k$, das Volumen $V = abc$.

Beispiel: $d = 3{,}04$ mm; $z = 3{,}1$; $k = 1{,}02$; $z_1 = 1{,}02$, $z_2 = 2{,}04$, $z_3 = 5{,}10$; $a = 1$, $b = 2$, $c = 5$ mm; $V = 10$ cbcm.

Ist ein Indexfehler vorhanden, so ist derselbe, wie bei den anderen Messinstrumenten, von allen Ablesungen abzuziehen bezw. zu allen zuzuzählen.

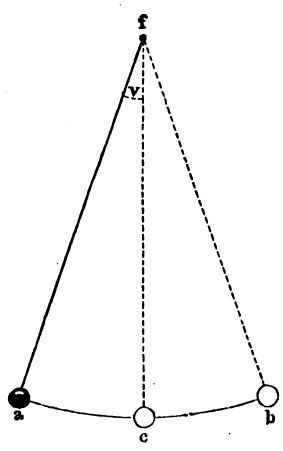
II. Das Pendel.

Gebraucht wird: Einfacher Pendelapparat mit einer grossen und einer kleinen Bleikugel und einer Wachskugel; der Pendelapparat Fig. 20; grosse Messingkugel mit Haken; Seidenfaden; durchbohrte Stahlplatte zum Anschrauben; Chronoskop; Schublade; Rechtwinkellineal.

I. Einleitung. Ein Pendel ist jeder Körper, der um eine nicht durch seinen Schwerpunkt gehende Axe schwingen kann. Bringt man ihn aus der Gleichgewichtslage heraus, so schwingt er um diese hin und her.

Das einfache Pendel, Fig. 19, besteht aus einem kleinen Körper, z. B. einer Kugel a, die an einem dünnen Faden af aufgehängt ist. Denkt man sich den Körper durch einen schweren materiellen Punkt ersetzt, der an einem gewichtslosen Faden hängt, so nennt man diese Anordnung ein mathematisches Pendel; hat der schwingende Körper irgend eine beliebige Gestalt, so heisst die Anordnung ein physisches Pendel.

Fig. 19.



Bringt man das Pendel aus seiner Ruhelage fc in die Lage fa und lässt es, ohne ihm einen Anstoss zu geben, los, so durchläuft die Kugel a den Bogen ac mit zunehmender Geschwindigkeit, kommt bei c mit einer solchen Geschwindigkeit an, dass sie auf der anderen Seite der Ruhelage bis zu einem Punkt b steigt, der ebenso weit von c entfernt ist wie a, kehrt dann um und schwingt bis a zurück u. s. f.

Eine Oscillation ist die Bewegung von a bis b oder von b bis a, Oscillationsdauer oder Schwingungsdauer ist die Zeit, welche das Pendel braucht, um einen Hingang oder einen Hergang auszuführen[1]), Amplitude ist der Bogen $ca = cb$, d. h. die grösste Verrückung, welche das Pendel erfährt.

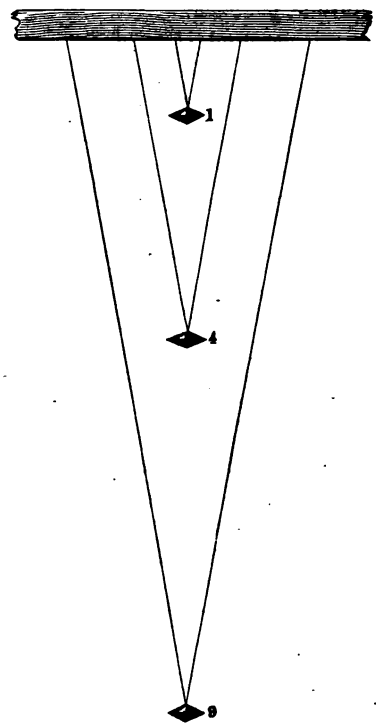
---

[1]) Bei anderen schwingenden Bewegungen, so beim Licht, bezeichnet man den Hin- und Hergang, also die Bewegung $ab\ ba$, als eine Oscillation und als Schwingungsdauer die Zeit, die zum Hin- und Hergang nöthig ist.

1. Prüfung der Pendelgesetze.

II. Apparat. 1) An drei Fäden von 1 m Länge sind je eine grössere und eine kleinere Bleikugel und eine Wachskugel aufgehängt. 2) An je zwei Fäden, Fig. 20, sind vier scheibenförmige Gewichte (von denen nur drei gezeichnet sind) aufgehängt, von denen das erste im Abstande 1 (6,25 cm), das zweite im Abstande 4 (25 cm), das dritte im Abstande 9 (56,25 cm), das vierte im Abstande 16 (1 m) von der Horizontalen sich befindet.

Fig. 20.



In allen Fällen, wo es sich wie hier darum handelt, in bestimmten Intervallen von $^1/_6$, $^1/_4$, $^1/_2$, 1 Minute Erscheinungen zu beobachten, dient eine in passender Weise umgeänderte Pendeluhr, wie sie zur Erläuterung der Construction derselben in der Vorlesung benutzt wird.

An den verticalen Träger des Werkes ist unmittelbar unter der Zifferscheibe und dem Zeiger ein kleines, mit einem Rande umgebenes Holzbrettchen an zwei Stäben befestigt, zwischen denen die Schnüre und das Pendel freien Spielraum haben. In dasselbe ist eine kleine Rinne geschnitten, in die etwas Quecksilber gebracht wird. Letzteres, sowie die Axe, welche die Zeiger trägt, ist in einen Stromkreis geschaltet mit zwei kleinen Leclanché-Elementen, die auf dem Grundbrett der Uhr stehen, und einer elektrischen Klingel, die an dem Ständer der Uhr aufgehängt ist. Der gewöhnliche Zeiger wird, je nachdem man jede Minute, halbe Minute, viertel Minute etc. anzeigen will, durch einen dem Radius oder dem Durchmesser entsprechenden Messingzeiger oder durch ein Messingkreuz ersetzt. Sobald eine der Spitzen derselben in das Quecksilber taucht, wird der Strom geschlossen und die Klingel ertönt. In diesem Moment findet die Ablesung statt.

III. **Uebung 1.** Man setzt das Uhrwerk in Gang, bringt die Kugel des Pendels aus der Ruhelage und lässt in dem Moment, wo ein Klingeln ertönt, das Pendel los, indem man mit 0 anfängt zu zählen; kommt das Pendel wieder in seine alte Lage, so zählt man 1, 2, 3 . . ., bis nach

einer bestimmten Zeit von z Secunden von Neuem das Klingeln ertönt. Hat man bis x gezählt, so hat das Pendel x Hingänge und x Hergänge, also $2x$ Schwingungen ausgeführt; die Schwingungsdauer ist dann:

$$T = \frac{z}{2x}.$$

A. Der Versuch wird zunächst mit einem der drei ersten Pendel angestellt, dabei wird:

1) dem Pendel eine kleine Amplitude gegeben;
2) dem Pendel eine grosse Amplitude gegeben.

Die Schwingungsdauern sind nahezu gleich, und es folgt der Satz: Bei kleinen Amplituden ist die Schwingungsdauer (nahezu) unabhängig von der Amplitude. Die Schwingungen sind isochron.

B. Die Schwingungsdauern werden für jedes der drei ersten Pendel von gleicher Länge bestimmt, sie sind gleich: Die Schwingungsdauer ist unabhängig von dem Gewicht der Kugeln und von der Natur ihrer Substanz.

C. Die Schwingungsdauern T_1 T_2 T_3 T_4 der vier Pendel von den Längen 1, 4, 9, 16 werden bestimmt; es ergiebt sich

$$T_1 = 0{,}25'' = \frac{1''}{4},\quad T_2 = 0{,}5'' = \frac{2''}{4},\quad T_3 = 0{,}75'' = \frac{3''}{4},\quad T_4 = 1'' = \frac{4''}{4},$$

d. h. die Schwingungsdauern verhalten sich wie

$$1 : 2 : 3 : 4 = \sqrt{1} : \sqrt{4} : \sqrt{9} : \sqrt{16}.$$

Die Schwingungsdauern verschieden langer Pendel verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen. Ein Pendel von 1 m Länge hat nahezu die Schwingungsdauer von 1″; ein Pendel, dessen Schwingungsdauer genau eine Secunde beträgt, heisst Secundenpendel.

2. Bestimmung der beschleunigenden Kraft der Schwere.

I. Princip. Ausser von der Länge hängt die Schwingungsdauer noch von der Anziehungskraft der Erde an dem Beobachtungsorte ab. Bezeichnen wir mit g die Beschleunigung der Schwere und mit L die Pendellänge, so ist die Schwingungsdauer

$$T = \pi \sqrt{\frac{L}{g}}.$$

Bei bekanntem L und T kann man aus der Schwingungsdauer g bestimmen.

II. Apparat. Eine ca. 330 g schwere homogene Messingkugel mit einem kleinen Haken wird an einem möglichst langen, ungedrillten Seidenfaden aufgehängt. Der Faden wird oben durch eine feine, in eine Metallplatte gebohrte Oeffnung gezogen und oberhalb der Oeffnung an der Platte befestigt. Diese selbst wird an der Zimmerdecke festgeschraubt.

Zur Messung der Zeiten bedient man sich des Chronoskops. Dasselbe hat Taschenuhrenform und wird durch Drehen eines mit Reifelung versehenen Knopfes wie eine Remontoiruhr aufgezogen. Der grössere Zeiger zeigt die Secunden, der kleinere die Minuten an. Diese Zeiger setzen sich erst in Bewegung in dem Momente, in dem man auf einen Knopf drückt; ein Druck auf einen zweiten neben diesem angebrachten Knopf arretirt das Werk; beim Drücken auf einen dritten Knopf springen beide Zeiger auf Null zurück. Drückt man beim Beginn eines Ereignisses auf den ersten Knopf, am Ende desselben auf den zweiten, so zeigen die Zeiger die Dauer des Ereignisses in Minuten, Secunden und Bruchtheile von Secunden an.

Andere Constructionen der Chronoskope beruhen auf demselben Princip.

Zweckmässig ist es, vor dem Versuch das Chronoskop mit einer richtig gehenden Taschenuhr zu vergleichen; entsprechen n Secunden des ersteren n' Secunden der letzteren, so ist die Länge einer von dem Chronoskope angegebenen Secunde $\frac{n'}{n}$.

III. **Uebung.** 1) Man legt um die Kugel eine Bindfadenschlinge, zieht mit derselben das Pendel aus seiner Gleichgewichtslage und befestigt den Faden an einem in geeigneter Höhe in die Wand geschlagenen Nagel, so dass die Amplitude des Pendels etwa 10 Grad beträgt.

2) Wenn die Kugel vollkommen zur Ruhe gekommen ist, brennt man den Faden neben der Kugel durch.

3) Man setzt das Chronoskop in dem Momente in Bewegung, in dem das Pendel durch seine Ruhelage hindurchgeht und zählt, mit Null beginnend, eine grössere Anzahl (z) Schwingungen, arretirt das Chronoskop und liest die gesammte Dauer der Schwingungen t ab.

Dann ist die Dauer einer einzelnen Schwingung $T = t/z$.

4) Man befestigt neben dem Pendel eine Holzlatte von der Länge der Zimmerhöhe in verticaler Stellung; man schiebt an derselben ein Rechtwinkellineal entlang, visirt über die obere Kante des horizontalen Schenkels nach dem oberen und nach dem unteren Ende des Fadens und macht jedesmal in der betreffenden Höhe einen horizontalen Bleistiftstrich auf der Holzlatte.

5) Man misst die Entfernung der beiden Striche auf der Holzlatte: L' cm.

6) Man misst den Durchmesser D der Kugel mit der Schublade (S. 9).

Dann ist die Entfernung L des Aufhängepunktes vom Schwerpunkte der Kugel $L = L' + \frac{1}{2} D$ und

$$g = \frac{\pi^2 L}{T^2}.$$

Bemerkung. Will man dem Umstande Rechnung tragen, dass das obige Pendel nicht streng genommen ein mathematisches, sondern ein physikalisches ist, so muss man die Dimensionen der Kugel berücksichtigen, und hat der Länge L noch die kleine Correction

$$\varepsilon = \frac{1}{10}\frac{D^2}{L}$$

zuzufügen. Dann wird

$$g = \frac{\pi^2(L+\varepsilon)}{T^2}.$$

Beispiel: $z = 400$; $t = 12^{\text{m}}\ 12^{\text{sec}}$; $T = 1{,}830$; $L' = 330{,}1$ cm; $D = 4{,}8$ cm; $L = 332{,}5$; $g = 979{,}9$; $\varepsilon = 0{,}0069$, also zu vernachlässigen.

III. Die Waage[1]).

Einleitung.

Gebraucht wird: Modell für die Schwerpunktslagen, bestehend aus zwei rechteckigen Brettchen und Gabel; Hebelmodell mit Gewichten zum Anhängen.

Wir schicken einige Betrachtungen und Uebungen aus der Mechanik voraus.

I. Der Schwerpunkt.

In Folge der Schwerkraft wirken auf alle einzelnen Punkte eines Körpers parallele Kräfte, die Gewichte derselben. Diese lassen sich zu einer Resultanten, dem Gesammtgewichte, zusammensetzen. Die Resultante greift, wie man auch den Körper drehen mag, stets in ein und demselben Punkte, dem Schwerpunkte, an. Ein Körper kann in dreierlei Arten in einem Punkte aufgehängt werden, so dass er unter dem Einflusse der im Schwerpunkte angreifenden Resultanten keine Bewegung ausführt, sich also im Gleichgewicht befindet.

1. Schwerpunkt und Unterstützungspunkt fallen zusammen, indifferentes Gleichgewicht, der Körper bleibt in jeder Lage in Ruhe.

2. Der Schwerpunkt liegt vertical unter dem Unterstützungspunkte, stabiles Gleichgewicht. Bringt man den Körper aus der Lage des stabilen Gleichgewichtes, so kehrt er, sich selbst überlassen, nach einigen Schwingungen wieder in diese zurück.

3. Der Schwerpunkt liegt vertical über dem Unterstützungspunkte, labiles Gleichgewicht. Bringt man den Körper aus dieser Lage heraus, so kehrt er nicht in dieselbe zurück, sondern strebt der Lage des stabilen Gleichgewichtes zu.

---

[1]) Wir geben hier nur eine kurze Theorie der Waage, und lassen die daraus folgenden Gesetze, die Grössen, welche ihre Empfindlichkeit bestimmen, die Fehler der Waage und des Gewichtssatzes und ihren Einfluss auf die Wägungen, sowie die Methoden ihrer Eliminirung aus dem Resultat an Modellen studiren, welche die Abweichungen in grossem Maassstabe zeigen (vergl. z. B. auf S. 41 die Bestimmung der Ungleicharmigkeit der Waage). Hat der Praktikant sich so erst eine anschauliche Vorstellung von der Bedeutung dieser Correctionen und dem Wege ihrer Ermittelung gebildet, so wird es ihm leicht sein, bei einiger Sorgfalt dieselben auch für jede feine Waage zu bestimmen.

Uebung. Man mache sich diese Verhältnisse an zwei kleinen rechteckigen überall gleich dicken Brettchen klar. Bei diesen liegt der Schwerpunkt in dem Durchschnittspunkte der beiden Diagonalen. Bei dem einen Brettchen geht ein Stift gerade durch diesen Punkt, bei dem anderen ist ein solcher seitlich neben dem Schwerpunkte durch das Brettchen getrieben. Mit den Stiften werden die Brettchen in eine Gabel gehängt. Das erste erläutert das indifferente Gleichgewicht, das zweite dient zur Veranschaulichung des stabilen und labilen Gleichgewichtes.

II. Das Hebelgesetz.

Der geradlinige Hebel ist eine gewichtlose, gerade Linie, die um einen Punkt, den Unterstützungspunkt, drehbar ist, und an der Kräfte angreifen. Wird die eine der Kräfte durch ein Gewicht dargestellt, so nennt man sie Last, die andere Kraft. Man unterscheidet ein- und zweiarmige Hebel. Bei den ersteren liegt der Unterstützungspunkt am Ende, Kraft und Last wirken in entgegengesetztem Sinne, bei den letzteren liegt der Unterstützungspunkt an irgend einer beliebigen Stelle, zwischen den in gleichem Sinne wirkenden Kräften und Lasten; liegt er in der Mitte zwischen beiden, so heisst der Hebel gleicharmig, liegt er in einem anderen Punkte, so heisst er ungleicharmig.

Greifen an einem zweiarmigen, geradlinigen Hebel senkrecht zu seiner Richtung auf beiden Seiten des Unterstützungspunktes parallel gerichtete Kräfte an, wie z. B. an einem horizontalen Hebel die vertical nach unten ziehenden Kräfte angehängter Gewichtsstücke, so gilt folgender Satz:

Gleichgewicht ist an dem Hebel vorhanden, wenn die statischen Momente auf beiden Seiten einander gleich sind.

Statisches Moment (Drehungsmoment) ist das Product aus Kraft (in unserem Falle Gewicht) P und Abstand des Angriffspunktes der Kraft vom Drehpunkte des Hebels (Hebelarm) l.

Greift an dem linken Hebelarm l_l das Gewicht P_l, an dem rechten Hebelarm l_r das Gewicht P_r an, so ist Gleichgewicht vorhanden, wenn

$$P_l l_l = P_r l_r.$$

Greifen mehrere Kräfte an, so müssen beim Gleichgewicht die Summen der statischen Momente auf beiden Seiten vom Unterstützungspunkte gleich sein.

Dasselbe gilt vom einarmigen Hebel.

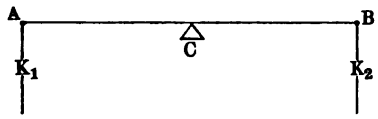
Greifen an irgend einem um eine Axe drehbaren Körper Kräfte an, die in einer senkrecht zu der Axe gelegenen Ebene liegen, so definiren wir allgemein:

Drehungsmoment ist das Product aus der Kraft P und dem senkrechten Abstand l der Richtung der Kraft vom Drehpunkte des Hebels (Hebelarm).

Gleichgewicht ist vorhanden, wenn die Summe aller Drehungsmomente Null ist, die in einem Sinne wirkenden Kräfte sind dabei positiv, die im entgegengesetzten wirkenden negativ zu nehmen.

Um das Hebelgesetz zu prüfen, müsste man eigentlich die Kräfte an einer gewichtlosen Stange *A B* (Fig. 21) angreifen lassen, weil sonst das im Schwerpunkte des Hebels angreifende Gewicht desselben als Kraft mit zu berücksichtigen ist. Befestigt man indess einen parallelepipedischen Stab in seiner Mitte, so dass er sich um eine durch seinen Schwerpunkt gehende Axe drehen kann, also im indifferenten Gleichgewicht ist, so gestalten sich bei ihm die Erscheinungen wie beim einfachen Hebel.

Fig. 21.



Man bringt längs der Mittellinie eines solchen Stabes eine Reihe von Stiften an, die gleich weit von einander abstehen und hängt Gewichte daran.

Uebung 1. Man hängt rechts 10 g an den ersten Stift, ebenso links 10 g an den ersten Stift, dann ist das statische Moment links: 10×1, rechts: 10×1 und es ist Gleichgewicht vorhanden. Man hängt das Gewicht 20 g an dem dritten Stifte rechts auf, links das Gewicht 30 g an dem zweiten Stifte: statisches Moment rechts $20 \times 3 = 60$, links $30 \times 2 = 60$; es ist Gleichgewicht vorhanden. Man hängt rechts 30 g in der Entfernung 4 auf. Frage: Mit welcher in der Entfernung 2 auf der linken Seite angreifenden Kraft kann man dieser Kraft das Gleichgewicht halten? Antwort: Mit der Kraft 60; denn $2 \times 60 = 4 \times 30$. Welche Kraft muss in der Entfernung 3 angreifen, um Gleichgewicht herzustellen? Antwort: Die Kraft 40; denn $3 \times 40 = 4 \times 30$.

In welche Entfernung muss man den Angriffspunkt der Kraft 50 bringen, damit sie der auf der anderen Seite in der Entfernung 5 angreifenden Kraft 20 das Gleichgewicht hält? Antwort: In die Entfernung 2; denn $2 \times 50 = 5 \times 20$.

Soll dieser Kraft 50 in dem Abstande 2 durch die beiden Kräfte 20 und 10 auf der anderen Seite das Gleichgewicht gehalten werden, so lässt man dieselben an den Hebelarmen 3 resp. 4 wirken, denn $3 \times 20 + 4 \times 10 = 100$, oder an den Hebelarmen 4 resp. 2, denn $4 \times 20 + 2 \times 10 = 100$ u. s. w.

Uebung 2. Man bringt an einem Stativ oberhalb des einen Hebelarmes eine Rolle an, schlingt über dieselbe einen mit zwei Oesen versehenen Faden, die eine Oese hängt man um einen der Stifte am Hebel, an die andere hängt man Gewichte. Man hängt ferner Gewichte an die einzelnen Stifte desjenigen Hebelarmes, über dem die Rolle sich befindet und prüft das Gesetz der statischen Momente für den einarmigen Hebel in ganz derselben Weise wie für den zweiarmigen.

III. Princip der Waage und des Wägens.

Die gewöhnlich benutzte Waage ist ein zweiarmiger, gleicharmiger Hebel (Waagebalken), dessen Schwerpunkt unter dem Unterstützungspunkte liegt, der sich also im stabilen Gleichgewicht befindet, und an dessen Enden in gleichen Abständen vom Unterstützungspunkte Vorrichtungen zum Anbringen der Gewichte, Waagschalen, vorhanden sind.

Bei einer guten Waage dient als Unterstützung eine möglichst scharfe Schneide, ebenso werden die Waagschalen von Schneiden getragen. Die drei Schneiden, welche den Waagebalken und die beiden Schalen tragen, müssen in einer Ebene liegen.

Liegen keine Gewichte auf den Schalen, so steht der Waagebalken horizontal; ein zu demselben senkrecht stehender Zeiger spielt auf einen bestimmten Punkt einer Theilung ein.

Stellt man auf die eine Schale ein Uebergewicht, so dreht sich der Waagebalken. Gleichgewicht tritt dann ein, wenn das Drehungsmoment des im Schwerpunkt vereinten Gewichtes des Waagebalkens gleich dem Drehungsmoment des Uebergewichtes ist. Bringt man auf die zweite Schale ein dem ersten Gewicht gleiches, so kehrt sie wieder in ihre Gleichgewichtslage zurück; hierauf beruht das Wägen. Man legt in die eine Waagschale den Körper, dessen Gewicht gefunden werden soll, und in die andere so viel bekannte Gewichtsstücke, bis wieder Gleichgewicht eingetreten ist.

Um die Wägungen möglichst genau ausführen zu können, muss die Waage empfindlich sein, d. h. schon ein geringer Gewichtsunterschied rechts und links muss sich bemerklich machen.

Definition: Die Empfindlichkeit einer Waage wird gemessen durch die Grösse des Ausschlages, den ein auf die eine Seite gebrachtes Uebergewicht Eins hervorruft.

IV. Theorie der Waage.

Es sei AB (Fig. 22) der um den Punkt C sich drehende Waagebalken, s_1 und s_2 seien die Schneiden, an denen die Waagschalen aufgehängt sind, welche sich bei horizontaler Lage des Waagebalkens in den Abständen l_1 und l_2 von der durch s gelegten Verticalebene befinden; s_1 möge sich in dem Abstande x, s_2 in dem Abstande y von der durch s gelegten Horizontalen befinden; der Schwerpunkt S des Waagebalkens befinde sich im Abstande z von C, das Gewicht desselben sei Q. Verhalten sich die Summen P_1 und P_2 der Gewichte der Schalen und der darauf liegenden Gewichte $P_1 : P_2 = l_2 : l_1$, so ist die Waage im Gleichgewicht. Legt man bei B ein Uebergewicht p auf, so schlägt die Waage um einen Winkel α aus, der bei kleinen Winkeln bestimmt ist durch die Gleichung:

$$(l_1 + x\alpha)\, P_1 + z\, Q\, \alpha = (l_2 - y\alpha)(P_2 + p).$$

Dann hält das Drehungsmoment der Kräfte P und Q links von C dem Drehungsmoment der Kraft $P + p$ rechts von C das Gleichgewicht.

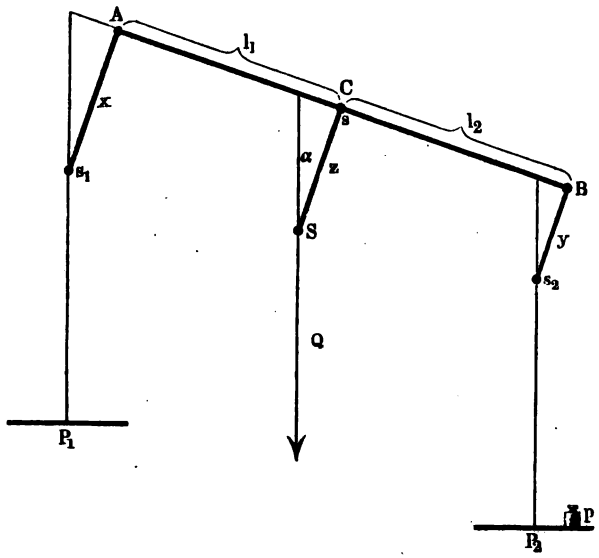
Danach ist

$$\alpha = \frac{l_2\, p}{x P_1 + z Q + y P_2 + y p}.$$

Die Empfindlichkeit ist:

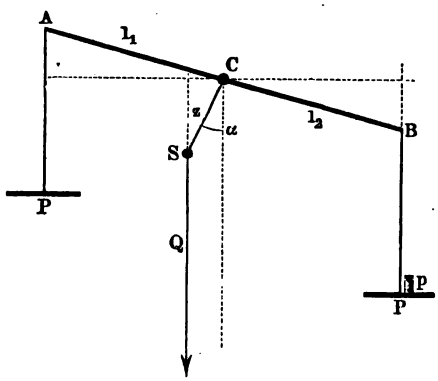
$$\alpha' = \frac{\alpha}{p} = \frac{l_2}{x P_1 + z Q + y P_2 + y p}.$$

Fig. 22.



In dem speciellen Falle, dass, wie es bei guten Waagen sein soll, die drei Schneiden s, s_1, s_2 in einer Ebene liegen, ist $x = y = o$, und es wird, wie sich übrigens aus der Fig. 23 auch ohne Weiteres ergiebt:

Fig. 23.



$$\alpha = \frac{l_2 p}{z Q}.$$

Die Empfindlichkeit ist:

$$\alpha' = \frac{\alpha}{p} = \frac{l_2}{z Q}.$$

Man findet also:

Der Ausschlag α ist direct proportional dem Uebergewicht p, der Länge l_2 des Waagebalkens CB, umgekehrt proportional dem Abstande z des Schwerpunktes des Waagebalkens vom Drehpunkte und dem Gewichte des Waagebalkens Q, und unabhängig von den Gewichten auf den Waagschalen.

Die Empfindlichkeit α' hängt in derselben Weise wie α von den letzten drei Grössen ab:

Die Empfindlichkeit ist direct proportional der Länge l der Balkenarme, umgekehrt proportional dem Gewicht Q des Waagebalkens, der Entfernung s des Schwerpunktes des Waagebalkens vom Drehpunkte und unabhängig von der Belastung und dem Uebergewicht.

Liegen die drei Schneiden nicht in einer Ebene, so hängt die Empfindlichkeit sowohl von der Belastung P, als auch dem Uebergewichte p ab.

Die eben aufgestellten Gesetze prüfen wir an einem von Weinhold und einem von Buff angegebenen Waagemodell.

1. Das Waagebalken-Modell nach Weinhold.

Gebraucht wird: Das Modell; 5 Ein-Gramm-Haken; 5 Fünf-Gramm-Haken; zwei 50 Grammstücke mit Haken; zwei cylindrische, cylindrisch durchbohrte Messinggewichte; ein kleiner Drahtbügel.

Fig. 24.

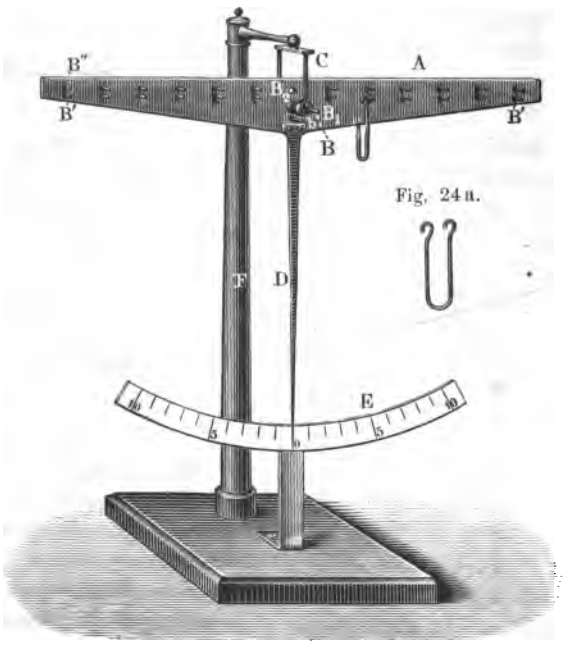


Fig. 24. A ist der Waagebalken, der an dem Stifte B in dem Haken C hängt, D der Zeiger, der auf der Scala E spielt.

Der Waagebalken hat bei B zwei Löcher, B_1 und B_2; der Stift B kann in das eine oder in das andere geschraubt werden. Jedem der beiden Löcher entsprechend läuft längs des Waagebalkens eine Reihe von Stiften B' und B''. Der Stift bei b zeigt die Stelle an, wo der Schwerpunkt des Ganzen liegt. Steckt man den Stift B in B_1 oder B_2, so verändert man den Abstand zwischen Unterstützungspunkt und Schwerpunkt.

Als Gewichte und Lasten dienen Haken von zwei verschiedenen Grössen von der Form Fig. 24 a, die auf die Stifte B' oder B'' in verschiedenen Entfernungen von B gehängt werden können. Je nachdem man die Gewichte an Stifte, die mehr oder weniger weit von der Drehungsaxe abstehen, hängt, hat man eine Waage mit längeren oder kürzeren Hebelarmen. Jeder der grösseren Haken wiegt 5 g, jeder der kleineren 1 g. Auf den Stift b können kleine Messingcylinder geschoben werden, wodurch die Last des Waagebalkens vermehrt, aber die Lage des Schwerpunktes nicht geändert wird, da dieselben genau im Schwerpunkte angreifen. Das Stativ F, welches das Ganze trägt, wird so aufgestellt, dass bei unbelastetem Waagebalken der Zeiger auf Null zeigt. Bringt man den Balken aus dieser Stellung heraus, so kehrt er nach einigen Schwingungen in dieselbe zurück.

Uebung 1. Einer der grösseren Haken wird in einer bestimmten Entfernung links aufgehängt. Dann müssen fünf kleinere Haken in derselben Entfernung rechts aufgehängt werden, damit der Zeiger wieder auf Null zeigt; die grösseren Haken sind also fünfmal schwerer als die kleinen.

Prüfung der Sätze über den Ausschlag α und die Empfindlichkeit α':

$$\alpha = \frac{l\,p}{z\,Q} \quad \text{und} \quad \alpha' = \frac{l}{z\,Q}.$$

Uebung 2. Man befestigt den Stift B im unteren Loche B_1, hängt einen Grammhaken am ersten Stift der unteren Reihe auf; Ausschlag: $A = 0{,}8$ Scalentheile. Durch diesen Ausschlag von 0,8 Sec. ist die Empfindlichkeit der Waage im augenblicklichen Zustande bestimmt.

Satz I: Der Ausschlag α ist (sehr nahe) dem Uebergewichte p proportional.

Uebung 3. Man hängt am ersten Stifte 1, 2, 3 u. s. f. Grammhaken auf und liest die zugehörigen Ausschläge ab; durch Vergleich derselben überzeugt man sich von der Gültigkeit des Proportionalitätsgesetzes bei kleinen Ausschlägen, man sieht ferner, bis zu welchen Winkelgrössen dasselbe noch anwendbar ist.

Belastung:	1	2	3	4	5 Gramm,
$\alpha =$	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0 Scalentheile.

Die Gültigkeit dieser Proportion gestattet, an der Scala Bruchtheile des Gewichtes zu bestimmen. Würde z. B. der Zeiger im vorliegenden Falle auf 3,0 einspielen, so würde man daraus schliessen, dass die Belastung $3^6/_8$ oder 3,75 g beträgt.

Satz II: Die Empfindlichkeit ist von der Belastung unabhängig, wenn die Angriffspunkte der Lasten und der Drehpunkt des Waagebalkens, d. h. die drei Schneiden, in einer Ebene liegen.

Uebung 4. Zwei 50-Grammstücke werden auf jeder Seite an die ersten kleinen Stifte (der unteren Reihe) angehängt. Durch Aufsetzen eines Drahtbügels an die geeignete Stelle des Waagebalkens wird das Gleichgewicht genau wieder hergestellt. Die fünf Eingrammhaken werden an einen der beiden ersten Stifte gehängt. Ausschlag: 4,0 Scalentheile, also genau so gross wie bei unbelasteter Waage.

Satz III: Die Empfindlichkeit wächst proportional mit der Balkenlänge.

Uebung 5. Für einen Grammhaken am 1. Stifte der unteren Reihe ist $\alpha = 0{,}8$ Sc., am 2. Stifte $\alpha = 1{,}6$ Sc., am 3. Stifte $\alpha = 2{,}4$ Sc., am 4. Stifte $\alpha = 3{,}2$ Sc., am 5. Stifte $\alpha = 4{,}0$ Sc.

Auf dieser Proportionalität beruht die Wirkung des Reiters (s. w. u. S. 48).

Satz IV: Die Empfindlichkeit ändert sich umgekehrt proportional der Entfernung des Schwerpunktes vom Aufhängepunkte.

Uebung 6. Die Axe B wird aus B_1 genommen. Die Entfernungen der Axen in B_1 und B_2 vom Schwerpunkte b werden gemessen: $bB_1 = 14$, $bB_2 = 21$ mm. Wird die Axe in B_2 statt in B_1 festgeschraubt, so ist die Entfernung im Verhältnisse von 2 : 3 vergrössert worden.

Ein Grammhaken wird am fünften Stifte der oberen (B_2) Reihe aufgehängt; Ausschlag 2,6 Scalentheile $= 2 \times 1{,}3$. Vorhin war der Ausschlag bei gleicher Entfernung des gleichen Uebergewichtes von der Axe 4,0 Scalentheile $= 3 \times 1{,}3$ nahezu gewesen. Also hat sich die Empfindlichkeit vermindert im Verhältnisse von 3 : 2.

Satz V: Die Empfindlichkeit ändert sich umgekehrt proportional mit dem Gewichte des Waagebalkens (bei unveränderter Lage des Schwerpunktes).

Uebung 7. Ein Grammhaken wird am fünften Stifte der oberen Reihe aufgehängt: Ausschlag: 2,7 Scalentheile. Die beiden cylindrischen Gewichte werden an die durch den Schwerpunkt gehenden Stifte angehängt, dadurch wird das Gewicht des Waagebalkens vermehrt ohne Verschiebung des Schwerpunktes; Ausschlag: 2,1. Also ist die Empfindlichkeit vermindert im Verhältniss von 9 : 7. Durch Wägung findet man: Gewicht des Balkens $=$ 87 g nahe gleich 7×12 g; Gewicht des Balkens mit Cylindern: 109 nahe gleich 9×12 g.

Das Balkengewicht war demnach im Verhältniss von 7 : 9 vergrössert worden.

2. Das Waagemodell nach Buff.

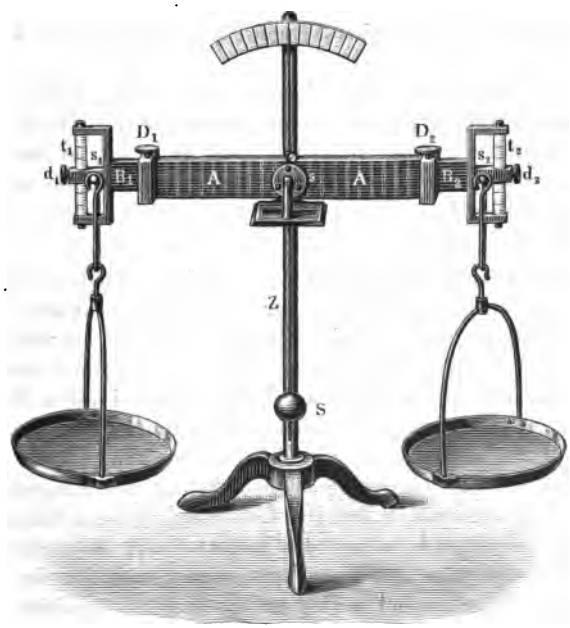
Gebraucht wird: Das Waagemodell Fig. 25; verschiedene Gewichtsstücke bis zum Gramm abwärts; zwei 200-Grammstücke; ein Gewichtsstück, welches das Hängen der Waage bei ungleichen Balkenlängen ausgleicht (siehe S. 42); Tarirschrot; Maassstab; Körper (200 bis 300 g schwer) zum Wägen.

Zur Erläuterung einer Reihe weiterer Verhältnisse, die für die Waage wichtig sind, dient das Buff'sche Waagemodell.

Bei dem Waagemodell, Fig. 25, kann man

1. die Schneiden s_1 und s_2, welche die Schalen tragen, und die mittelste Schneide s in eine Ebene bringen oder aus derselben entfernen.

Fig. 25.



Dazu löst man eine der Druckschrauben d_1 oder d_2 und schiebt das Messingklötzchen, welches die Schneide trägt, auf dem getheilten Stabe t_1 resp. t_2 auf oder ab und klemmt sie in irgend einer Lage fest.

2. den Schwerpunkt des Waagebalkens verlegen. An dem Stabe Z kann das kugelförmige Laufgewicht S durch eine Druckschraube an einer beliebigen Stelle festgeklemmt werden. Je weiter man S hinauf-

rückt, um so näher rückt der Schwerpunkt des Waagebalkens und der mit ihm fest verbundenen Theile an den Unterstützungspunkt s.

3. die Länge der Balkenarme ss_1 und ss_2 verändern. Innerhalb des Waagebalkens A lassen sich die Stäbe B_1 und B_2 verschieben und durch die Schrauben D_1 und D_2 festklemmen. Sowohl auf diesen Stäben wie auf dem Waagebalken A sind Centimetertheilungen angebracht, welche ihre Anfänge in s resp. s_1 und s_2 haben, vermittelst deren man die Länge der Balkenarme ss_1 und ss_2 messen kann.

Uebungen. a) Einfluss der Schneidenstellung. 1) Die beiden Schneiden s_1 und s_2 werden in die mittlere Lage gebracht (in der Gleichung S. 34 resp. 35 ist dann $x = y = 0$), und beide Balkenarme gleich lang gemacht. Auf eine Schale wird ein Grammstück gelegt; der dabei eintretende Ausschlag α dient als Maass der Empfindlichkeit.

2) Auf die Schalen werden je 200 g aufgesetzt; 1 g Uebergewicht auf der einen Seite bewirkt wieder einen Ausschlag von α Grad, die Empfindlichkeit ist also unabhängig von der Belastung.

3) Eine Schneide wird aus der mittleren Lage herausgebracht; auf die Schale der anderen wird 1 g gelegt. Ausschlag bei unbelasteter Waage: α' [1]).

4) 200 g werden auf beiden Schalen aufgesetzt. 1 g Uebergewicht bewirkt jetzt einen anderen, geringeren Ausschlag α''. Die Empfindlichkeit ändert sich also mit der Belastung, und zwar um so mehr, je mehr die Schneiden von der mittleren Lage entfernt werden, was durch einige weitere Versuche der beschriebenen Art zu bestätigen ist.

Beispiel: $\alpha = 0{,}4$, $\alpha' = 0{,}4$, $\alpha'' = 0{,}2$ Scalentheile.

Ist aber die Empfindlichkeit der Waage bei verschiedenen Belastungen verschieden, so kann man nicht mehr die zur Berechnung der Bruchtheile der kleinsten Gewichtsstücke benutzte Methode der Schwingungen anwenden (vergl. w. u. S. 47). Deshalb müssen bei einer guten Waage alle drei Schneiden in einer Ebene liegen und bei allen Belastungen, welche der Waage überhaupt zugemuthet werden dürfen, in derselben verbleiben, der Waagebalken darf sich nicht durchbiegen.

Um diese Anforderung möglichster Stabilität des Waagebalkens mit der eines nach der Formel, S. 35, zur Erreichung grosser Empfindlichkeit nothwendigen geringen Gewichts des Balkens nach Möglichkeit zu vereinigen, durchbricht man den Waagebalken und stellt ihn am besten aus Aluminium her, welches bei geringem specifischen Gewicht ($s = 2{,}6$) eine grosse Festigkeit besitzt.

b) Einfluss der Lage des Schwerpunktes. Bei einer bestimmten höchsten Stellung des Laufgewichts S sei der Ausschlag für ein Gramm Uebergewicht bei normaler Schneidenstellung $= \alpha$ Scalentheilen. Man bringt das Laufgewicht in tiefere Lagen, notirt die zu den

[1]) Dadurch wird freilich auch die Lage des Schwerpunktes etwas geändert, indess sehen wir hier davon ab.

einzelnen Stellungen gehörigen Ausschläge und achtet zugleich auf die Schnelligkeit der Schwingungen.

Beispiel: Stellung: 1. 2. 3.
Ausschlag: α = 0,4, 0,3, 0,2 Scalentheile.

Die Empfindlichkeit der Waage nimmt ab, je weiter der Schwerpunkt vom Unterstützungspunkte entfernt ist. Umgekehrt schwingt die Waage schneller, je tiefer das Laufgewicht ist. Mit der grösseren Empfindlichkeit nimmt die Schwingungsdauer der Waage ab. Man kann deshalb erstere aus letzterer schätzen.

Bei feinen Waagen befindet sich auf dem Waagebalken ein auf einem verticalen Gewindestück drehbares Laufgewicht. Durch Auf- und Niederschrauben desselben lässt sich der Schwerpunkt des Waagebalkens näher oder weniger nahe dem Unterstützungspunkte rücken und dadurch die Empfindlichkeit der Waage innerhalb weiter Grenzen variiren. Indessen empfiehlt es sich nicht, eine gewisse Grenze zu überschreiten. Oberhalb dieses Laufgewichtes befindet sich oft noch ein kleines drehbares Fähnchen, um den Waagebalken horizontal zu stellen (vergl. Fig. 26 a).

c) Einfluss der Länge der Balkenarme. Die Balkenarme B_1 und B_2 werden ganz eingeschoben. Das Laufgewicht S wird möglichst hoch befestigt. Nun werden beide Balkenarme durch Ausziehen von B_1 und B_2 um gleichviel verlängert, die Länge abgelesen und die Grösse des Ausschlages bei Belastung mit 1 g bestimmt. Proportional der Länge der Arme nimmt die Empfindlichkeit zu. Zugleich wächst die Schwingungsdauer der Waage.

Beispiel: Länge der Balkenarme . . . . . 12 18 cm,
Ausschlag für 1 g Uebergewicht . 0,4 0,6 Scalentheile.

Da der Waagebalken nicht zu schwer werden und sich nicht durchbiegen darf, ist der Länge, die man den Balkenarmen zum Zwecke einer gesteigerten Empfindlichkeit geben darf, eine gewisse Grenze gesetzt. Um den Vortheil einer kürzeren Schwingungsdauer zu haben, construirt man sogar verhältnissmässig kurzarmige Waagen.

d) Einfluss der Ungleicharmigkeit der Waage auf die Wägungen. Die Theorie fordert, dass die Arme des Waagebalkens, d. h. die Entfernung der zwei Schneiden an den Enden von der mittleren Schneide, genau gleich gross sind. Dieser Anforderung lässt sich selbst bei der sorgsamsten Arbeit in aller Strenge nie genügen. Man nennt das Verhältniss der Balkenlängen R und L einer Waage das Balkenverhältniss [1]).

Anmerkung. Die unter b) und c) angeführten Uebungen sind denen auf S. 38 angegebenen mit dem Waagebalkenmodell analog; wir geben dieselben hier aber in extenso, damit die Uebungen mit dem Waagebalkenmodell und dem vorliegenden Waagemodell gleichzeitig von zwei Gruppen, von Praktikanten, in beliebiger Reihenfolge angestellt werden können.

[1]) Selbst wenn die Waagebalken von dem Verfertiger gleich lang hergestellt sind, so ändert sich doch das Verhältniss, da es unmöglich ist, stets beide Waage-

Sollte der Waagebalken für sich in Folge von Ungleichheiten nach der einen Seite niederhängen, so wird dies durch kleine Laufgewichte am Ende des Balkens, welche in horizontaler Richtung vor- und zurückgeschraubt werden können, compensirt.

Sind die Längen der Arme des Balkens ungleich und verhalten sich die Gewichte der Schalen umgekehrt wie diese Längen, so steht die Waage auf Null. Hängt man dann die Schalen um, so schlägt die Waage nach der Seite des längeren Armes und der schwereren Schale aus. Dadurch kann man prüfen, ob die Arme des Waagebalkens gleich lang und die Schalen gleich schwer sind.

Die Waage sei durch das Laufgewicht horizontirt.

Sind die Abstände der Schneiden s_1 und s_2 von s, d. h. die Längen des linken und rechten Waagearmes L und R und greift links die Last Q, rechts das Gewicht P an, so ist nach S. 32 Gleichgewicht vorhanden, wenn

$$QL = PR.$$

Es ist also $Q = \frac{R}{L} P$ grösser oder kleiner als das Gewicht P, je nachdem $R \gtrless L$ ist.

Die Grösse des Balkenverhältnisses ermittelt man durch eine einmalige Wägung, indem man zwei genau gleiche Gewichtsstücke P auf die Schalen legt. Um die Waage einspielen zu lassen, muss man dem am kürzeren Balkenarme (z. B. L) wirkenden Gewichte P noch ein Uebergewicht p zufügen, so dass

$$(P + p)L = PR.$$

Daraus folgt:

$$\frac{R}{L} = \frac{P+p}{P} = 1 + \frac{p}{P}.$$

Uebung. Der rechte Balkenarm R wird um einen Theilstrich (Centimeter) länger als der linke L gemacht. Die Waage hängt. Durch Aufsetzen eines geeigneten Uebergewichtes links (dessen Grösse man nicht zu kennen braucht, dasselbe compensirt nur das Hängen der Waage!) wird der Zeiger wieder auf Null zurückgebracht. Zwei Zweihundert-Grammstücke werden auf beiden Seiten aufgelegt. Die Waage neigt sich nach rechts. Man legt links so viel (p) Gramm auf, bis wieder Gleichgewicht hergestellt ist. Dann ist $\frac{R}{L} = 1 + \frac{p}{200}$. Man liest die Längen von R und L an den Scalen ab, bildet R/L und überzeugt sich durch Messen mit dem Maassstabe, dass die Wägung das Balkenverhältniss ergeben hat.

---

balken auf genau gleicher Temperatur zu halten; der eine steht etwa dem Ofen oder dem Fenster näher als der andere und bei sehr feinen Wägungen ist dieser Einfluss nicht zu vernachlässigen. (Bei Messing macht ein Temperaturunterschied von 1^0 eine Aenderung des Gewichtes um $^2/_{10000}$ aus, also bei einem Gramm Belastung schon 0,2 mg.)

Beispiel: $p = 12$, also liegt:

links (L)	rechts (R)
212 g	200 g.

Da Gleichgewicht eingetreten ist, so ist:

$$212\ L = 200\ R; \qquad \frac{R}{L} = \frac{212}{200} = 1{,}060.$$

Directe Messungen der Schneidenabstände ergeben:

$$R = 175 \text{ mm} \qquad L = 165 \text{ mm},$$

also:

$$\frac{R}{L} = 1{,}061,$$

d. h. sehr nahe derselbe Werth wie oben.

3. Wägen mit einer nicht ganz gleicharmigen Waage.

α) Hat man das Balkenverhältniss R/L für eine Waage ermittelt, und erfordert die Last Q am linken Arme das Gewicht P am rechten zur Herstellung des Gleichgewichtes, so ist $Q = P\frac{R}{L}$. Man muss also das gefundene Gewicht noch mit dem Balkenverhältniss multipliciren (bei links aufgelegter Last), um das wahre Gewicht zu erhalten.

Uebung. Mit der Waage, bei der man das Balkenverhältniss R/L gemessen hat, ist die Wägung eines Körpers nach dieser Methode auszuführen.

β) Man kann den Einfluss des Balkenverhältnisses auf die Wägung umgehen durch die Tarirmethode (Methode von Borda). Dabei legt man die zu wägende Last Q auf eine Schale und tarirt dieselbe durch Auflegen von geeigneter Tara (Schrot etc.) auf der anderen Schale aus; dann nimmt man die Last Q weg und legt so viel Gewichte P auf, bis der Tara auf der anderen Seite wieder das Gleichgewicht gehalten wird. Da Q und P an demselben Balkenarme wirken, so sind beide auch gleich.

Uebung. Das Gewicht des soeben gewogenen Körpers ist nach diesem Verfahren zu bestimmen.

γ) Eine dritte Methode ist die der „Doppelwägung". Erfordert die links liegende Last Q das rechts wirkende Gewicht P, so erfordert sie, wenn sie auf die Schale am rechten Arme gelegt wird, bei der ungleicharmigen Waage ein anderes Gewicht P' auf der linken Seite zur Herstellung des Gleichgewichtes. Es ist

$$\text{1. Wägung:} \quad Q\,L = P\,R,$$
$$\text{2. Wägung:} \quad P'\,L = Q\,R.$$

Durch Division folgt hieraus $Q : P' = P : Q$ oder $Q^2 = P \times P'$ oder endlich $Q = \sqrt{P \times P'}$; das Balkenverhältniss fällt also heraus.

Da sich P und P' im Allgemeinen immer nur um eine sehr kleine Grösse unterscheiden, so kann man mit hinreichender Annäherung auch

$$Q = \frac{1}{2}(P + P')$$

setzen.

Andererseits ergiebt sich durch Multiplication $QP'L^2 = PQR^2$ und hieraus das Balkenverhältniss:

$$\frac{R}{L} = \sqrt{\frac{P'}{P}}.$$

Uebung. Das Gewicht des Körpers der vorigen Uebung ist auch nach dieser Methode zu bestimmen. Zu berechnen ist sowohl $\sqrt{PP'}$ als auch $^1/_2(P + P')$.

Beispiel: Eine messingene Hohlkugel ergab nach der Tarirmethode das Gewicht $Q = 206$ g. Als dieselbe links lag, mussten rechts 193 g (P) aufgelegt werden. Da $R/L = 1{,}061$ ist, so ist $Q = 204{,}7$. Als die Kugel (Q) rechts lag, mussten links 218 g (P') aufgelegt werden. Hieraus folgt $Q = \sqrt{P \times P'} = 205{,}1$. $^1/_2(P + P') = 205{,}5$.

Die Doppelwägung kann man auch benutzen zur Bestimmung des Balkenverhältnisses und der Differenz zweier Gewichtsstücke.

P_1 und P_2 seien die beiden Gewichte, die zwar den gleichen Nennwerth haben, sich aber um die kleine Grösse x von einander unterscheiden: $x = P_2 - P_1$. Nehmen wir an, dass das Gewichtsstück P_1 richtig ist, so kommt die gesammte Differenz auf das Gewicht P_2, welches demnach mit dem (relativen) Fehler x versehen ist; es wirkt also nicht mit seinem Nennwerth P_2, sondern mit der Kraft $P_2 + x$ an der Waage; dieser Werth ist daher in die Gleichung der statischen Momente einzusetzen.

Bei der ersten Wägung liege das falsche Stück $P_2 + x$ links, P_1 rechts. Um Gleichgewicht herzustellen, sei links das Zusatzgewicht p_1 nöthig. Dann hat man die Gleichung:

$$(P_2 + x + p_1)L = P_1 R.$$

Liegt bei der zweiten Wägung $P_2 + x$ rechts, P_1 links und muss man jetzt rechts das Zusatzgewicht p_2 hinzufügen, um Gleichgewicht herzustellen, so ist jetzt

$$P_1 L = (P_2 + x + p_2)R.$$

Aus beiden Gleichungen erhält man:

$$\left(\frac{R}{L}\right)^2 = \frac{P_2 + x + p_1}{P_2 + x + p_2} = \frac{1 + \dfrac{x + p_1}{P_2}}{1 + \dfrac{x + p_2}{P_2}}.$$

Da x und in Folge davon auch p_1 und p_2 klein gegenüber P_2 ist, so kann man für diesen Ausdruck schreiben:

$$\frac{R}{L} = 1 + \frac{1}{2}\,\frac{p_1 - p_2}{P_2}\ ^{1}).$$

In dieser Gleichung stehen rechts nur bekannte Grössen, man kann aus ihr R/L berechnen. Hat man das Balkenverhältniss gefunden, so giebt eine der beiden benutzten Gleichungen, etwa die erste, die man schreiben kann:

$$P_2 + x + p_1 = P_1\,\frac{R}{L},$$

die andere gesuchte Grösse x:

$$x = P_1\,\frac{R}{L} - P_2 - p_1.$$

Uebung. Ein 200-Grammstück wird dadurch fehlerhaft gemacht, dass ein 2-Grammstück auf demselben befestigt wird. Der eine Waagearm wird um ein Centimeter länger als der andere gemacht und die Doppelwägung mit dem fehlerhaften und einem richtigen 200-Grammstück ausgeführt. Die Berechnung geschieht nach den gegebenen Formeln.

Beispiel: 1. Wägung: $P_2 = 200 + x$ links, $P_1 = 200$ rechts, $p_1 = 11$ g. — 2. Wägung: P_1 links, $200 + x$ rechts. Rechts ist Uebergewicht. Um Gleichgewicht herzustellen, müsste man rechts Gewichte wegnehmen (negative Gewichte aufsetzen), und zwar offenbar so viel, als man links Gewichte auflegen muss, um Gleichgewicht herzustellen. Links müssen 15 g aufgelegt werden, also $p_2 = -15$ g. Daher:

$$E = \frac{R}{L} = 1 + \frac{1}{2}\cdot\frac{11-(-15)}{200} = 1 + \frac{1}{2}\cdot\frac{11+15}{200} = 1{,}065.$$

$$x = 200 \times 1{,}065 - 200 - 11 = 2\,\text{g}.$$

4. Chemische Waage.

Apparat. Die Abbildung einer gebräuchlichen Form einer feinen chemischen Waage giebt die Fig. 26 (a. f. S.). a ist das auf S. 41 erwähnte Fähnchen zum Horizontiren, b ist das Laufgewicht zum Verändern der Lage des Schwerpunktes, $c\,c$ sind die auf S. 42 erwähnten Schräubchen. Durch Drehen an dem Knopf e wird eine verticale Stange, mit der der horizontale Träger $d\,d$ verbunden ist, gehoben, dadurch wird der Waagebalken in die Höhe gehoben, so dass die Schneide s nicht mehr auf ihrer Unterlage ruht, sondern frei schwebt und so vor Abnutzung gesichert ist: die Waage wird arretirt. Bei vielen Waagen werden gleichzeitig die Schalen in die Höhe gehoben, so dass auch die sie tragenden Schneiden nicht mehr belastet sind. Hinter der Säule S hängt ein Senkel, das,

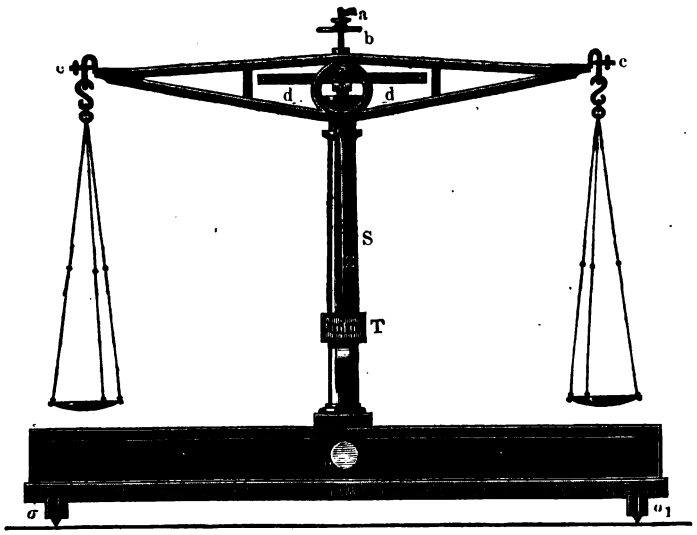
---

[1]) Bei der Ableitung macht man von einigen elementaren Sätzen Gebrauch, wir geben nur die Endformel.

wenn *S* genau vertical steht, gerade über einer Spitze einspielt. Ueber dem ganzen oberhalb des Brettes befindlichen Theile ist ein Kasten mit Glasfenstern und Thüren angebracht, um Luftströmungen abzuhalten. Durch den oberen Theil der einen Seitenwand geht in einer Führung ein Stab, mittelst dessen man ohne den Kasten zu öffnen auf den Waagearm die Reiter aufsetzen kann (s. w. u.).

Uebung 1. Einstellung der Waage. 1) Man dreht so lange an den Fussschrauben σ und σ_1, bis das Senkel einspielt, eventuell bis eine in die Waage gestellte Dosenlibelle einspielt.

Fig. 26.



2) Man schraubt das Gewicht *b* so weit herauf oder herunter, bis die Schwingungsdauer circa 10 bis 15 Secunden (bei den kurzarmigen Waagen 6 bis 10 Secunden) beträgt.

3) Durch Drehen an dem Fähnchen *a* oder entsprechenden Vorrichtungen wird der Zeiger auf den mittelsten Theilstrich der Theilung *T* eingestellt.

Uebung 2. Ausführung einer Wägung.

Jedes Auflegen und Fortnehmen von Gewichten muss bei arretirter Waage vorgenommen werden, da sonst die Schneiden leiden. Die Waagschalen dürfen nicht pendeln. Die Gewichte und die zu wägenden Gegenstände dürfen nie mit den Fingern angefasst werden, sondern nur mit der Pincette. Die Gewichte sind stets wieder in derselben Reihenfolge in den Gewichtssatz einzulegen.

Man legt auf die linke Seite die Last, auf die rechte die Gewichte.

1. Bestimmung des Nullpunktes.

Bei feinen Waagen würde es zeitraubend sein, das Aufhören der Schwingungen abzuwarten und dadurch die Ruhelage zu bestimmen; man beobachtet die Umkehrpunkte einiger auf einander folgender Schwingungsbögen, die Ruhelage des Zeigers entspricht in erster Annäherung dem Mittel aus zwei auf einander folgenden Umkehrpunkten.

Genauer erhält man die Ruhelage, wenn man das arithmetische Mittel aus einer ungeraden Anzahl von Schwingungsbögen nimmt.

Dabei sind, je nach der Art der Theilung auf T, die beiden Fälle zu unterscheiden:

1) Der Mittelstrich ist mit 10 bezeichnet, dann addirt man alle Ablesungen auf der einen Seite, alle Ablesungen auf der anderen, bildet aus jeder Summe das Mittel und aus beiden Mitteln wieder das Mittel.

Beispiel:

Umkehrpunkte					Mittel	Nullpunkt
1.	2.	3.	4.	5.		
6,4		6,6		6,8	6,6	
	14,1		13,9		14,0	10,3

2) Der Mittelstrich ist mit 0 bezeichnet, dann rechnet man die nach links gelegenen Striche negativ, die nach rechts gelegenen positiv und verfährt sonst wie oben.

Beispiel:

Umkehrpunkte					Mittel	Nullpunkt
1.	2.	3.	4.	5.		
−3,6		−3,4		−3,2	−3,4	
	+4,1		+3,9		+4,0	+0,3

2. Das Wägen.

a) Wägung bis auf die Centigramme. Zunächst sucht man von den grössten Gewichten des Gewichtssatzes anfangend das erste Gewichtsstück, welches leichter ist als der Körper. Dann legt man, wieder von dem grössten der leichteren Gewichtsstücke anfangend, immer kleinere Gewichtsstücke auf, bis wiederum die beiden Gewichtsstücke vereint eben leichter sind, als der Körper u. s. f. Dies Verfahren ist viel weniger zeitraubend, als wenn man etwa durch Probiren oder Zulegen von 1 g nach dem anderen das Gleichgewicht herstellen wollte.

Beispiel: Das Gewicht des zu wägenden Körpers sei 17,38 g, dann würde sich der Gang der Wägung folgendermaassen gestalten:

10 g zu wenig, 20 g zu viel, zu 10 g noch 5 g, 15 g zu wenig, noch 2 g zu wenig, noch 1 g zu viel, 1 g wird fortgenommen; 0,5 g zu viel, 0,2 g dazu zu wenig, noch 0,1 g zu wenig, noch 0,1 g zu viel, 0,1 g fort, 0,05 g zu wenig, noch 0,02 g zu wenig, noch 0,01 g; die Waage spielt ein: es ist also $P = 17{,}38$ g.

Das Gesammtgewicht wird durch Addition der auf den Waagschalen liegenden Gewichtsstücke ermittelt.

b) Wägung bis auf die Milligramme und Bruchtheile derselben. Lässt sich durch Auflegen von Centigrammen kein Gleich-

gewicht herstellen, so benutzt man den Reiter, der 1 cg wiegt. Der Reiter ist ein aus dünnem Platindraht hergestellter ⌐⌐förmig gebogener, oben mit einer Oese versehener Bügel, der sich auf den getheilten Waagebalken setzen lässt.

Hängt man denselben an das Ende des Waagebalkens, im Abstande l von der Drehungsaxe auf, so hält er einem Centigramm auf der anderen Seite das Gleichgewicht, in den Abständen $\frac{1l}{10}, \frac{2l}{10}, \cdots$ wirkt er wie $^1/_{10}$ cg = 1 mg, $^2/_{10}$ cg = 2 mg etc. auf der anderen Seite. Man verschiebt denselben bei arretirter Waage und vollkommen geschlossenem Waagekasten so lange, bis Gleichgewicht hergestellt ist.

Statt dass man so lange den Reiter verschiebt, bis das Gleichgewicht selbst vollkommen hergestellt ist, benutzt man auch den Satz, dass die Ausschläge proportional den Uebergewichten sind, indem man aus den Schwingungsbögen die jeweilige Ruhelage interpolirt (s. oben).

Beispiel:

		Reiter:	Ruhelage:
Unbelastet . .	—	—	10,0 Scalenthle.
Gewichte . . .	302,53 g	7 mg	10,4 „
Gewichte . . .	302,53 g	8 mg	9,8 „

1 mg entspricht also ein Ausschlag von 0,6 Scalentheilen. Die Ruhelage würde eintreten für eine Stellung des Reiters

$$7 + \frac{10{,}4 - 10}{10{,}4 - 9{,}8} = 7{,}66$$

oder das Gesammtgewicht beträgt:

302,53766 g.

3. Reduction auf den leeren Raum.

Bei genauen Wägungen muss man den Auftrieb berücksichtigen, welchen die Körper in der Luft wie im Wasser erfahren. Ist p das scheinbare Gewicht eines Körpers in der Luft, d. h. die Gewichtsstücke, die ihm in der Luft das Gleichgewicht halten, λ die Dichte der Luft ($\lambda = 0{,}0012$ bei circa 20^0), s die Dichte des Körpers, δ die Dichte der Gewichtsstücke, so ist das Gewicht im leeren Raume:

$$P = p\left(1 + \frac{\lambda}{s} - \frac{\lambda}{\delta}\right) = p + p\lambda\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{\delta}\right).$$

Zu dem gefundenen, scheinbaren Gewichte muss man also noch $p\lambda\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{\delta}\right)$ hinzufügen, um das wahre Gewicht zu finden; die Correction ist um so grösser, je mehr s und δ sich von einander unterscheiden.

5. Calibriren eines Gewichtssatzes.

Die Gewichte eines Gewichtssatzes sind nach bestimmten Regeln angeordnet. Meist enthält ein solcher in Summa ein bestimmtes Ge-

sammtgewicht, z. B. von 100 g, und die Einzelgewichte sind z. B. 50, 20, 10′, 10″, 5, 2, 1′, 1″, 1‴ g, wo die Indices ′, ″, ‴ die einzelnen gleichwerthigen Gewichte bezeichnen. Statt des einen Grammstückes können mehrere kleinere Gewichte, 0,5, 0,2′, 0,1′, 0,1″, 0,1‴ g u. s. f., gegeben sein. Das Calibriren eines Gewichtssatzes bezweckt, das Verhältniss der einzelnen Gewichtsstücke zu dem Gesammtgewicht aller Stücke, wie es durch directen Vergleich mit einem Normalgewicht erhalten ist, festzustellen.

1. Wir wollen zunächst voraussetzen, die Arme des Waagebalkens bis zu den Aufhängeschneiden der Schalen seien gleich lang. Dann stellt man auf die rechte und linke Schale die der Reihe nach folgenden Gewichtsstücke und bewirkt, falls die Waage nicht einspielt, dies durch Zusatz von kleinen Gewichtsstücken $\alpha, \beta, \gamma, \delta$, welche wir positiv oder negativ setzen, je nachdem sie auf die eine oder andere Schale zu stellen sind.

Man habe so erhalten:

$$\begin{aligned} 50' &= 20 + 10' + 10'' + 5 + 2 + 1' + 1'' + 1''' + \alpha \\ 20 &= 10' + 10'' + \beta \\ 10'' &= 10' + \gamma \\ 5 + 2 + 1' + 1'' + 1''' &= 10' + \delta \end{aligned}$$

Die Summe S aller Gewichte $S = 50' + 20' + 10' + 10'' \ldots$ sei gleich $100 + \varrho$ statt genau 100, wo ϱ durch Vergleichung mit einem Normalgewichte gefunden wird.

Drückt man alle Gewichte zunächst durch 10′ aus, so wird:

$$\begin{aligned} 50' &= 5.10' + \alpha + \beta + 2\gamma + \delta \\ 20 &= 2.10' + \beta + \gamma \\ 10'' &= 1.10' + \gamma \\ 5 + 2 + 1' + 1'' + 1''' &= 1.10' + \delta \end{aligned}$$

oder:

$$S = 10.10' + \alpha + 2\beta + 4\gamma + 2\delta = 100 + \varrho.$$

Setzt man:

$$^1/_{10}\,(\alpha + 2\beta + 4\gamma + 2\delta - \varrho) = \sigma,$$

so ist:

$$\begin{aligned} 50' &= 50 - 5\sigma + \alpha + \beta + 2\gamma + \delta \\ 20' &= 20 - 2\sigma + \beta + \gamma \\ 10'' &= 10 - \sigma + \gamma \\ 10' &= 10 - \sigma \\ 5 + 2 + 1' + 1'' + 1''' &= 10 + \delta \end{aligned}$$

Nimmt man die Summe aller Gewichtsstücke des Satzes als richtig an, so wird in den obigen Formeln $\varrho = 0$. Dies kann meist geschehen, wo es sich nur um relative Gewichtsbestimmungen handelt, wie bei chemischen Analysen u. s. f.

2. Sind die Arme der Waage nicht gleich lang, so werden die gegen einander abzuwägenden Gewichtsstücke mittelst der Methode von Borda oder der Doppelwägung mit einander verglichen.

IV. Dichte der festen und flüssigen Körper.

Einleitung.

Gebraucht wird: Kleiner Würfel aus Eisen; Parallelepiped aus Messing; Kugel aus Kupfer; Cylinder aus Messing.

Circa $\frac{1}{2}$ m lange Capillarröhre; kurze Kugelröhre (vergl. Fig. 28) mit Schlauch, Fläschchen mit Quecksilber; Uhrgläschen; kleine Porcellanschale; Millimeterscala (auf Papier); event. der Quecksilberkasten und das Quecksilberfilter (Fig. 27).

Waage mit Gewichtssatz; grosser massiver Eisencylinder; gewöhnliche Tafelwaage.

Hydrostatische Waage (Fig. 26); Gewichtssatz; Apparat von Al Biruni (Fig. 27) mit Uhrgläschen; Spritzflasche; Kästchen mit Nickel-, Schwefel- und Antimonstücken; Pyknometer; Terpentinöl; das Sprengel'sche Pyknometer (Fig. 30) mit Kugelrohr und Schlauch (Fig. 31), das Sprengel'sche Pyknometer mit Thermometer; eine Kochsalzlösung von bestimmtem Procentgehalt; ein Wasserbad; Bleistücke; Zinkstücke für das Pyknometer.

Apparat zur Demonstration des Archimedischen Principes; grössere Stücke von Bleiglanz, Zinkblende und Zinn, an einem etwa millimeterdicken Messingdraht befestigt; Bänkchen, Becherglas und Spritzflasche (S. 56); Stücke von Magnesium, Kupfer und Aluminium an sehr dünnen, weichen Messingdrähten; Glaseimer an dünnen Messingdrähten mit Glasspatel; Becherglas; Büchse mit Vaseline; Brenner; Flachzange; Flasche mit gepulvertem Glas; Glasstück an dünnem Messingdraht.

Jolly's Federwaage mit Glasgefäss; Kästchen mit Glasstücken; Gewichtssatz.

Westphal-Mohr'sche Senkwaage mit Reitern, Senkkörper und Glasgefäss; Alkohol; Schwimmkörper (Fig. 41) mit Ausflussgefäss und Becherglas.

Nicholson'sche Senkwaage mit Glasgefäss und Messingbügel (der durch den Hals der Senkwaage hindurchgeht, und der, wenn er auf dem Rande des Gefässes aufliegt, verhindert, dass die Senkwaage untersinkt); ein Messingklötzchen; ein gewöhnlicher Gewichtssatz.

Aräometer für leichtere und schwerere Flüssigkeiten als Wasser; Standgefäss dazu; Flasche mit absolutem Alkohol (mindestens 200 cbcm); zwei Messcylinder; ein Mischcylinder; grösseres Wasserbad.

Die Dichte einer Substanz ist die Masse (Quantität, Materie) der mit der Substanz erfüllten Volumeneinheit.

Das specifische Gewicht ist das Gewicht der mit der Substanz erfüllten Volumeneinheit.

Die Zahlenwerthe für die Dichte und für das specifische Gewicht sind einander gleich, da wir in unserem metrischen Maass- und Ge-

wichtssystem als Masseneinheit die Masse von 1 cbcm Wasser einführen und gleichzeitig das Gewicht dieser Masse als Gewichtseinheit wählen (s. oben). Daher gebraucht man beide Bezeichnungen in demselben Sinne; wir werden oft von Dichte sprechen, wo zunächst nur das specifische Gewicht ermittelt wird. In vielen Fällen, so bei den Dämpfen, spricht man fast nur von der Dampfdichte, selten vom specifischen Gewicht der Dämpfe.

Dabei ist aber immer festzuhalten, dass die Dichte die Masse, das specifische Gewicht das Gewicht der Volumeneinheit ist, erstere also eine Masse, letzteres eine Kraft darstellt. Dieser Unterschied kommt aber bei den Fragen, mit denen wir es hier zu thun haben, nicht in Betracht.

Da das Volumen, welches von derselben Quantität Substanz eingenommen wird, sich mit der Temperatur verändert, so ist die Dichte mit der Temperatur veränderlich, und es ist stets anzugeben, für welche Temperatur der mitgetheilte Werth der Dichte gilt. Bei festen und flüssigen Körpern ist die Aenderung des Volumens bei mässigen Temperaturänderungen relativ klein, bei Gasen gross; daher kann bei ersteren, wenn es nur auf Näherungswerthe ankommt, die Dichte für die mittlere Temperatur der Umgebung angegeben werden (s. übrigens Ausdehnung).

I. Das specifische Gewicht einer Substanz ermittelt man, indem man das Gewicht eines bekannten Volumens derselben bestimmt. Hat ein homogener Körper das Volumen von V Cubikcentimetern, und ist sein Gewicht P Gramm, so ist das Gewicht von 1 cbcm derselben Substanz, also das specifische Gewicht:

$$S = \frac{P}{V} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 1_a)$$

Die Dichte d hat denselben Zifferwerth wie S, sie ist also auch:

$$d = \frac{P}{V} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 1_b)$$

Uebung. 1) Die Dimensionen regelmässig gestalteter Körper (Parallelepipede, Kugeln und Cylinder), aus verschiedenen Metallen, werden mit Hülfe der in Capitel I besprochenen Instrumente gemessen. Ihre danach in Cubikcentimetern berechneten Volumina seien V.

2) Dann werden dieselben gewogen; die Gewichte seien P.

Die specifischen Gewichte werden nach der Formel 1) berechnet.

Der Inhalt eines Parallelepipedes ist: $V = abc$ cbcm, wenn a, b, c die Längen der Kanten in Centimetern sind; der einer Kugel ist: $V = \frac{4}{3}\pi r^3$, wenn r der Halbmesser in Centimetern ist; der eines (Kreis-) Cylinders ist: $V = \pi r^2 h$, wenn r der halbe Durchmesser, h die Höhe des Cylinders ist. Hierbei ist $\pi = 3{,}1416$.

Beispiele: Würfel aus Eisen:

$a = b = c = 1{,}40$ cm; $V = 1{,}4^3 = 2{,}744$ cbcm; $P = 21{,}129$ g; also $S = 7{,}7$.

Parallelepiped aus Messing:

$a = 0{,}5$ cm, $b = 1$ cm, $c = 2$ cm, $V = 0{,}5 \times 1 \times 2 = 1$ cbcm, $P = 8{,}4$ g, $S = 8{,}4$.

Kugel aus Kupfer:

Durchmesser $= 1{,}50$ cm, $r = 0{,}75$ cm, $V = 1{,}767$ cbcm, $P = 15{,}727$ g, $S = 8{,}9$.

Cylinder aus Messing:

Durchmesser $1{,}20$ cm, $r = 0{,}6$ cm, $h = 2{,}3$ cm, $V = 3{,}1416 \times 0{,}36 \times 2{,}3 = 2{,}604$ cbcm; $P = 21{,}353$ g, $S = 8{,}2$,

also kleiner als das parallelepipedische Stück ergeben hatte. Messing ist eine Legirung aus Kupfer und Zink; je nach der relativen Menge der beiden Bestandtheile liegt das specifische Gewicht dieser Substanz zwischen 7,7 und 8,7.

II. Aus der Gleichung 1) folgt

$$V = \frac{P}{S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Diese Gleichung kann man zur Volumenbestimmung benutzen. Füllt man irgend einen Raum mit einem Körper, dessen specifisches Gewicht S man kennt, z. B. mit Wasser von 4^0 ($S = 1$) oder Quecksilber von 0^0 ($S = 13{,}60$), so erhält man das Volumen, wenn man die in dem Raume enthaltene Gewichtsmenge P durch d dividirt.

Für Wasser und Quecksilber von t^0 sind die specifischen Gewichte:

t	0	5	10	15	20	25
Wasser . .	0,9999	1,0000	0,9997	0,9992	0,9980	0,9971
Quecksilber .	13,60	13,58	13,57	13,56	13,55	13,53.

Diese legt man zu Grunde, wenn die Auswägungen bei der Temperatur von t^0 stattgefunden haben.

Fig. 27.

Uebung. Ermittelung des Querschnittes einer Capillarröhre.

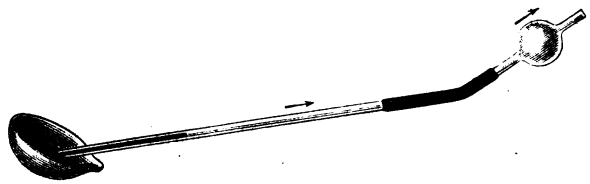
Man erhält den Querschnitt aus dem Gewicht eines Quecksilberfadens von bestimmter Länge.

1) Aus einem Schälchen mit trockenem, reinem [1]) Quecksilber saugt man

[1]) Das Reinigen des Quecksilbers geschieht entweder dadurch, dass man dasselbe durch eine aus Fliesspapier zusammengedrehte Düte mit feiner Oeffnung an der Spitze fliessen lässt, wobei Staubtheilchen an den Papierwänden hängen bleiben, oder besser noch durch Filtriren durch Waschleder in dem durch die Fig. 27 dargestellten Apparat. Der Trichter *A* wird von dem Holzständer *B* getragen. An denselben ist das 8 mm weite Rohr *D* angeschmolzen, welches unten bei *C* umgekröpft ist. Hier ist ein Stück Waschleder umgebunden. Giesst

durch einen an die Capillarröhre angesetzten Gummischlauch, der mit einer Kugel verbunden ist, damit kein Speichel in die Röhre gelangt, nachdem man vorher durch Aussaugen den Mund von Speichel befreit, einen Quecksilberfaden von 10 bis 15 cm Länge in das Capillarrohr ein, wobei

Fig. 28.

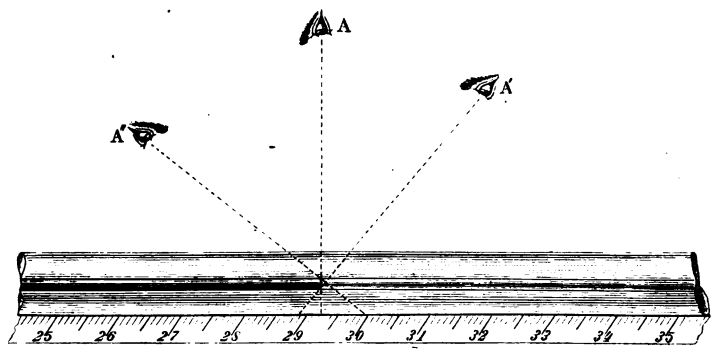


man das Rohr möglichst horizontal zu halten hat, wie die Fig. 28 zeigt [1]). Man schliesst das Rohr unten durch den Finger.

2) Mit dem Faden, der an keiner Stelle Luftblasen enthalten darf, legt man das Rohr auf eine Millimetertheilung und liest die Stellungen der beiden Enden des Fadens ab (A_1 und A_2).

Bei diesen Ablesungen, sowie bei allen Messungen, bei denen der Gegenstand (z. B. Quecksilberfaden oder Zeiger), dessen Lage gegen

Fig. 29.



eine Scala abgelesen werden soll, nicht mit der Theilung genau in einer Ebene liegt, muss das Auge beim Ablesen genau senkrecht über der Theilung stehen, wie in A, Fig. 29. Blickt man schräg gegen die Theilung, wie bei der Augenstellung A' oder A'' in der Fig. 29, so er-

---

man Quecksilber in A, so tritt dasselbe in einem feinen Sprühregen von allen mechanischen Beimengungen gereinigt durch das Leder aus. Enthält das Quecksilber fremde Metalle beigemischt, so muss es vorher durch Behandeln mit Salpetersäure oder durch Destillation gereinigt werden.

[1]) Diese sowie alle anderen Arbeiten mit Quecksilber müssen auf einem mit einem ca. 2 cm hohen Rande versehenen Tische oder in einem entsprechenden grösseren Kasten ausgeführt werden.

hält man fehlerhafte Ablesungen, wie aus der Figur ohne Weiteres ersichtlich ist; bei der Lage A' scheint sich z. B. das Ende des Fadens auf den Punkt 288,9, bei der Lage A'' auf den Punkt 299,5 zu projiciren; man nennt die durch eine falsche Augenstellung bewirkten Ablesungsfehler: Parallaxenfehler.

Man erkennt die richtige Stellung des Auges im vorliegenden Falle und ebenso bei Thermometerablesungen daran, dass die Theilstriche, welche bei der Ablesung in Betracht kommen, gerade erscheinen, während die nach rechts und links gelegenen so gekrümmt sind, dass sie ihre concave Seite nach dem betrachteten Theilstriche hinkehren.

Man legt noch besser die Röhre auf eine Scala, die auf einem Streifen Spiegelglas getheilt ist, und hält das Auge so, dass das Spiegelbild des Endes des Quecksilberfadens sich gerade mit dem Spiegelbilde des Auges deckt.

Die Ablesungen A_1 und A_2 macht man an verschiedenen Stellen der Röhre, indem man durch geringes Neigen den Quecksilberfaden an das eine Ende, in die Mitte und an das andere Ende der Capillarröhre bringt.

Ist die Länge des Fadens $L = A_1 - A_2$ cm an allen Stellen gleich, so ist die Röhre cylindrisch; sonst giebt die verschiedene Länge des Fadens ein Mittel, um den Grad der Ungleichförmigkeit des Querschnittes zu erkennen (vergl. weiter unten bei dem Calibriren einer Thermometerröhre).

3) Man lässt das Quecksilber in ein Uhrgläschen fliessen und wägt das Ganze: Gewicht P_1.

4) Nach Abgiessen des Quecksilbers wird das Uhrgläschen für sich gewogen: Gewicht P_2.

Berechnung: Das Gewicht des Quecksilbers ist $P = (P_1 - P_2)$ g. Also nach Gleichung 2) das Volumen desselben:

$$V = P/S,$$

wobei wir für die Dichte S bei gewöhnlicher Zimmertemperatur 13,6 nehmen können.

Ist q der Querschnitt der cylindrischen Röhre, so ist das Volumen eines L cm langen Stückes $V = Lq$, woraus sich für den Querschnitt ergiebt:

$$q = V/L = P/(SL).$$

Ist der Querschnitt kreisförmig, so ist $q = \pi r^2$, wo r der Radius der Röhre ist; also ist:

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi L}} = \sqrt{\frac{P}{\pi L\, 13{,}6}} \text{ cm}.$$

Beispiel: $L_1 = 13{,}75$ cm am einen Ende der Capillaren; $L_2 = 13{,}78$ cm am anderen Ende; die Röhre ist also nicht ganz genau calibrisch; Mittel: $L = 13{,}765$ cm, $P = 0{,}589$ g, $V = 0{,}589 : 13{,}6 = 0{,}0433$ cbcm, $r = 0{,}0316$ cm.

III. Da S das Gewicht der Volumeneinheit ist, so ist das Gewicht P eines Volumens V irgend einer Substanz vom specifischen Gewicht S:

$$P = V \times S \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

Diese Gleichung gestattet, aus dem Volumen V einer Substanz bei bekanntem specifischen Gewicht S das Gewicht P des betreffenden Quantums zu berechnen; so findet man z. B. das Gewicht eines Berges, dessen Gestalt und Substanz bekannt ist.

Uebung. Man soll das Gewicht P einer regelmässig gestalteten Eisenmasse berechnen, die zu schwer für die feinere Waage ist. Die Eisenmasse habe die Form eines Kreiscylinders von der Dicke δ und der Länge l, dann ist das Volumen $V = \pi \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 l$. Oben wurde für das specifische Gewicht des Eisens $S = 7{,}7$ gefunden.

Folglich ist das Gewicht der Eisenmasse: $P = 7{,}7 \times \pi \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 l$ Gramm, wenn die Längen in Centimetern gegeben sind.

Zur Controle wägt man das Eisenstück auf einer gröberen Waage mit hinreichender Tragfähigkeit.

Beispiel: $\delta = 4{,}1$ cm, $l = 8{,}2$ cm. Also $V = 108{,}3$ cbcm; $P = 108{,}3 \times 7{,}7 = 833$ g.

Die Wägung auf einer Tafelwaage ergab $P = 840$ g.

IV. Aus der Dichte leiten sich folgende Grössen von hoher Bedeutung ab:

1. Das specifische Volumen[1]) v ist das Volumen der Gewichts- (Massen-) einheit:

$$v = \frac{1}{d},$$

wo d die Dichte bedeutet.

2. Das Atomvolumen V_{At} ist das Volumen, welches das durch das Atomgewicht A eines Körpers bestimmte Gewicht einnimmt. Es ist also

$$V_{At} = vA = \frac{A}{d}.$$

Beziehen wir die Dichten auf diejenige des Wassers $= 1$, so ist das Atomvolumen die Anzahl Cubikcentimeter, welche das in Grammen ausgedrückte Atomgewicht einnimmt.

3. Das Molecularvolumen V_{Mol} ist das Volumen, welches das durch das Moleculargewicht eines Körpers bestimmte Gewicht einnimmt.

---

[1]) Früher benutzte man den Ausdruck specifisches Volumen auch für das Atom- und Molecularvolumen; wir werden stets den Ausdruck Atomvolumen und Molecularvolumen benutzen, da mit dem Prädicat „specifisch" belegte Eigenschaften sich meist auf die Gewichtseinheit beziehen.

Man erhält es, wenn man das specifische Volumen v mit dem Moleculargewicht M multiplicirt:

$$V_{Mol} = v\,M = \frac{M}{d}.$$

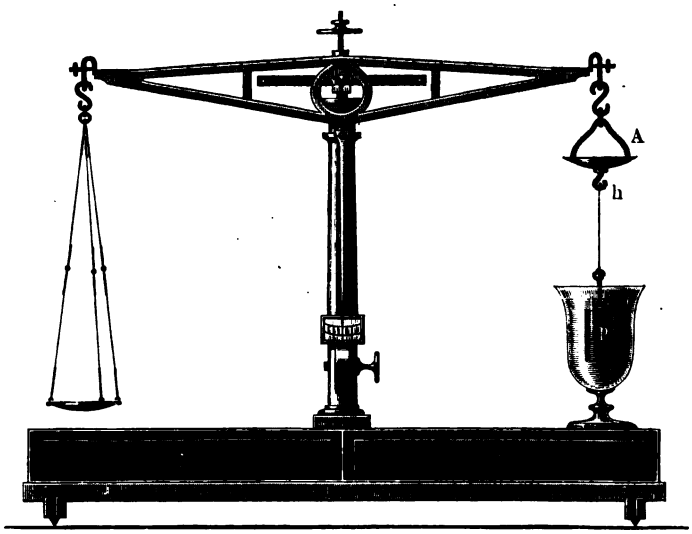
Bei jeder der im Folgenden vorgeschlagenen Bestimmungen eines specifischen Gewichtes (einer Dichte) ist das Atom- resp. Molecularvolumen zu berechnen, da diese Zahlen zur Begründung der am Schlusse dieses Abschnittes aufgeführten allgemeinen Gesetze verwendet werden sollen. Die in den gegebenen Beispielen behandelten Körper sind so ausgewählt, dass sie gerade diese Gesetze hervortreten lassen.

Beispiel: Oben wurde (S. 51) für das specifische Gewicht des Eisens 7,7 gefunden. Das Atomgewicht des Eisens ist 56, also das Atomvolumen $V_{At} = 56/7{,}7 = 7{,}3$.

Nach der Gleichung S. 51 ist die Dichte $d = P/V$. P bestimmt sich aus Wägungen, V nach verschiedenen, theils directen und theils indirecten Methoden.

Zu den Wägungen dienen im Allgemeinen die gewöhnlichen Waagen oder eine besondere Form derselben, die hydrostatische Waage[1]).

Fig. 30.



Die hydrostatische Waage (Fig. 30) ist eine gewöhnliche Waage, bei der an Stelle der einen Waagschale eine andere A mit viel kürzerem

[1]) Man hat an dem oberen Ende der Bügel der Waagschalen feiner Waagen Haken angebracht, an welche die Körper gehängt werden. Die bei der hydrostatischen Methode zu benutzenden Gläser werden auf kleine Bänkchen gestellt, welche über die Waagschalen gesetzt werden, diesen aber freien Spielraum lassen.

Bügel angebracht ist, die an ihrem unteren Theile noch einen Haken h trägt, um an demselben Gegenstände, wie den Körper p, aufzuhängen.

Das Volumen V bestimmt man entweder direct durch Ausmessen etc., oder man bestimmt besonders bei festen Körpern das von ihnen verdrängte Volumen einer Flüssigkeit. Das erste Verfahren ist oben benutzt worden; da indess die Körper nie absolut regelmässige Gestalt besitzen, so ist man in der Praxis auf das zweite angewiesen.

Hierbei bestimmt man entweder das Volumen der verdrängten Flüssigkeit durch das Gewicht derselben, oder bedient sich hydrostatischer Methoden.

Ausser unter directer Benutzung der Gleichung $d = P/V$ kann man auch unter Zuhülfenahme aller anderen physikalischen Erscheinungen, bei denen die Dichte eine Rolle spielt, die Dichte bestimmen.

1. Verdrängungsmethoden.

I. Bestimmungen mit dem Apparat von Al Biruni.

Ein kolbenförmiges Glasgefäss mit cylindrischem Halse A, an den ein engeres, umgebogenes Glasrohr B angesetzt ist, und vor dem ein

Fig. 31.

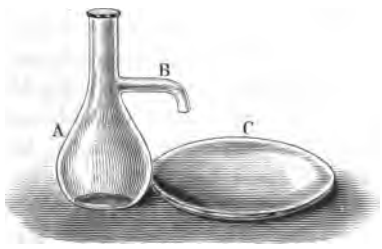


Fig. 32.

Gefäss, etwa ein Uhrglas, C steht (Fig. 31), wird so weit mit Wasser gefüllt, bis dasselbe aus dem engen Rohr B ausfliesst.

1) Man wägt das leere Uhrglas, sein Gewicht sei in Gramm . p.
2) Man wägt den Körper, sein Gewicht sei . . . . . P.
3) Man wirft den Körper in das Al Biruni'sche Gefäss, und fängt das ausfliessende Wasser im Uhrglase auf.
4) Man wägt Uhrglas und Flüssigkeit, ihr Gewicht sei . π, dann ist das Gewicht des Wassers und sein Volumen in Cubikcentimetern . . . . . $\pi - p$.

Also ist das specifische Gewicht des Körpers . . $d = \frac{P}{\pi - p}$.

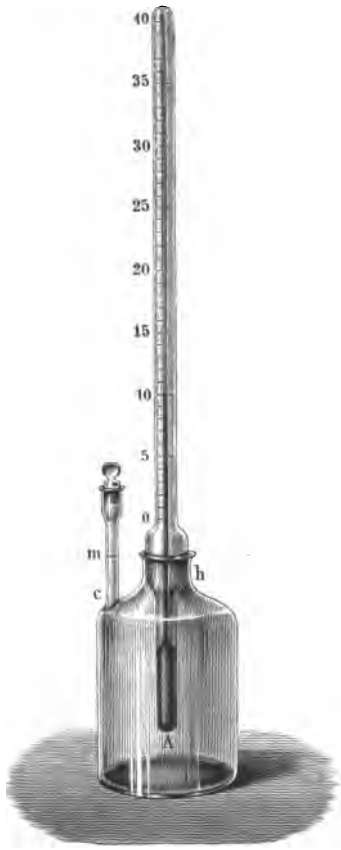
Beispiel: $p = 2{,}72$ g; $P = 12{,}32$ g kleiner Nickelstücke werden in den Apparat geworfen; $n = 4{,}21$ g; also $V = n - p = 1{,}49$ cbcm, $d = 8{,}3$. Das Atomgewicht des Ni ist 59, also das Atomvolumen $V_{At} = 59 : 8{,}3 = 7{,}1$. Ein Versuch mit Schwefel (S = 32) ergab $d = 2{,}0$, also $V_{At} = 16$; für Antimon (Sb = 120) war $d = 6{,}7$, also $V_{At} = 18$.

II. Bestimmungen mit dem Pyknometer.

Apparat. Das Pyknometer ist ein Glasfläschchen von einem constanten Rauminhalt.

Die einfachste Form (Fig. 32 a. v. S.) desselben ist eine kleine Flasche *A*, in welche ein durchbohrter Glasstöpsel *B* eingeschliffen ist. Man füllt dieselbe ohne aufgesetzten Stöpsel mit irgend einer Flüssigkeit bis zum Rande, so dass sie als Kuppe übersteht, setzt den Stöpsel auf, so dass die Flüssigkeit ausspritzt; dann enthält das Fläschchen bis an den oberen Rand der Capillarröhre des Stöpsels stets dasselbe Volumen. Vor dem Wägen trocknet man das Fläschchen aussen mit einem Tuche ab, aber ohne es zu erwärmen und zu drücken.

Fig. 33.



Vollkommener ist das Pyknometer Fig. 33. Es besteht aus einem Fläschchen, in dem ein Thermometer mittelst eines eingeschliffenen Stöpsels befestigt ist. *c* ist ein sich oben etwas erweiterndes, enges Rohr, das nahe seinem oberen Ende eine Marke *m* trägt und durch einen kleinen eingeschliffenen Stöpsel verschlossen ist.

Man füllt dasselbe zunächst bei geöffnetem Stöpsel bis zum Rande *h*, setzt das Thermometer ein, entfernt mit etwas Filtrirpapier die Flüssigkeit bis zur Marke *m* und setzt schliesslich den kleinen Stöpsel in *c* ein.

Ein zur Untersuchung von Flüssigkeiten sehr geeignetes Pyknometer ist das von Sprengel (Fig. 34) construirte. Eine U-Röhre, die etwa 20 cbcm fasst und 11 mm äusseren Durchmesser hat, ist an beiden Enden ausgezogen, die engen Theile sind horizontal umgebogen. Der eine horizontale Theil *a* ist kürzer und enger als der andere *b*. Nahe an der Biegung trägt *b* eine Marke *m*. Man füllt den Apparat, indem man *b* in die Flüssigkeit eintaucht und bei *a* unter Einschaltung eines Kugelrohres mit einem Kautschukschlauch saugt (Fig. 35). Das Ganze taucht man in ein Wasserbad von con-

stanter Temperatur. Bei *a* tupft man die Flüssigkeit so lange mit Filtrirpapier ab, bis sie bis zur Marke *m* reicht. Ist zu viel Flüssigkeit fortgenommen, so nähert man *a* einen Glasstab, an dem ein Tropfen der Flüssigkeit hängt. Zweckmässig ist es, das Bad stets etwas wärmer zu

Fig. 34.

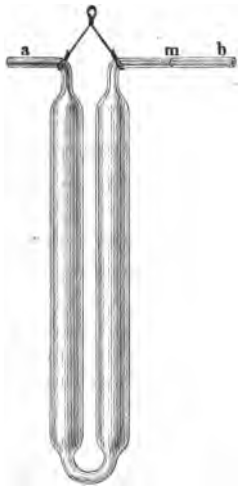


Fig. 35.

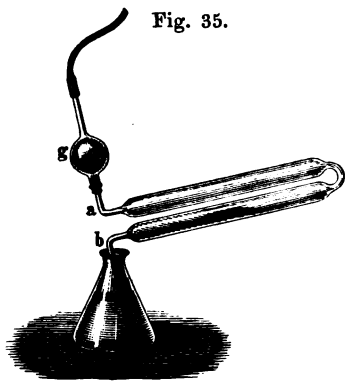
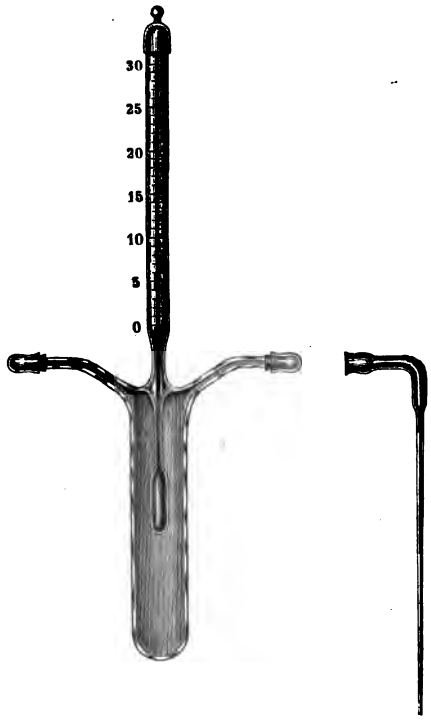


Fig. 36.



nehmen als die umgebende Luft; dann zieht sich nach dem Herausnehmen aus dem Bade die Flüssigkeit in das Pyknometer zurück, während sie im entgegengesetzten Falle leicht ausfliesst.

Eine vollkommenere Gestalt dieses Pyknometers giebt Fig. 36.

Uebungen. 1. Flüssigkeiten.

a) Mit dem Pyknometer (Fig. 32).

1) Man wägt das Pyknometer leer, Gewicht . . . . . P_p.
2) Man wägt das Pyknometer mit Wasser, Gewicht. . . P_W.
3) Man spült das Pyknometer mit Alkohol und Aether aus, erwärmt ein wenig und bläst einen Luftstrom mit dem

Blasebalg oder saugt mit der Wasserstrahlpumpe einen solchen hindurch.

4) Man füllt das Pyknometer mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, Gewicht . . . . . P_f.

Das Volumen des Pyknometers ist $V = P_W - P_p$.

Das Gewicht der Flüssigkeit ist $P = P_f - P_p$.

Das specifische Gewicht der Flüssigkeit ist also

$$d = \frac{P_f - P_p}{P_W - P_p}.$$

Das Volumen, das von dem Glasbläser auf die Pyknometer aufgeschrieben ist, ist nur ein angenähertes, darf daher nie den Rechnungen zu Grunde gelegt werden.

Bei dieser Bestimmung ist nicht auf die Ausdehnung des Glases und die Aenderung der Dichte des Wassers mit der Temperatur Rücksicht genommen (vgl. hierüber bei Ausdehnung).

Beispiel: $P_p = 6{,}82$; $P_w = 16{,}75$; $V = P_w - P_p = 9{,}93$ cbcm; Pyknometer mit Terpentinöl gefüllt: $P_f = 15{,}54$; also Gewicht des Terpentinöles im Pyknometer $P_f - P_p = 8{,}72$; $d = 0{,}88$. Molecular gewicht des Terpentinöles ($C_{10}H_{16}$) $M = 136$; also Molecularvolumen $136 : 0{,}88 = 155$.

b) Mit dem Sprengel'schen Pyknometer (Fig. 34).

Die Reihenfolge der Wägungen zur Bestimmung des specifischen Gewichtes und die Berechnung ist dieselbe wie oben.

Die Ausdehnung des Glases ist fast stets zu vernachlässigen; ist t die Temperatur, bei der das Pyknometer mit Wasser gefüllt worden ist, so erhält man das wahre Volumen desselben bei t^0, indem man $P_w - P_p$ durch die t^0 entsprechende Dichte des Wassers dividirt (vergl. S. 52).

Beispiel: Bei einer normalen Kochsalzlösung (58,5 g NaCl im Liter) wurde gefunden: $P_p = 16{,}620$ g; $P_w = 43{,}100$; $V = P_w - P_p = 26{,}480$ cbcm; $P_f = 44{,}170$; $P = P_f - P_p = 27{,}550$ g; $d = 27{,}550 : 26{,}480 = 1{,}040$.

2. Feste Körper.

a) In Wasser nicht lösliche Körper:

1) Man wägt das Pyknometer (Fig. 32) voll Wasser, Gewicht P_w.

2) Man wägt den Körper, von dem man so viel nimmt, dass er einen möglichst grossen Theil des Pyknometers erfüllt, Gewicht . . . . . P.

3) Man wirft den Körper in das Pyknometer, füllt das Pyknometer bis oben und wägt wieder. Vorher schüttelt man, um möglichst alle am Körper anhaftenden Luftbläschen zu entfernen, Gewicht . . . . . P_1.

Das Gewicht des verdrängten Wassers ist $P_w + P - P_1$, das Volumen des Körpers ist also $P_w + P - P_1$ cbcm.

Das specifische Gewicht ist demnach:

$$d = \frac{P}{P_w + P - P_1}.$$

Beispiel: Blei (Pb = 206): $P_w = 16{,}77$; $P = 29{,}27$; $P_1 = 43{,}48$ g; $P_w + P - P_1 = 2{,}56 = V$; $d = 29{,}27 : 2{,}56 = 11{,}4$; $V_{At} = 206 : 11{,}4 = 18$. Zink (Zn = 65) ergab $d = 7{,}2$, also $V_{At} = 9$.

b) In Wasser lösliche Körper:

1) Man wägt das Pyknometer mit einer Flüssigkeit von dem specifischen Gewicht d_1, in welcher der Körper sich nicht löst, Gewicht . . . . . P_f.
2) Man wägt den Körper, Gewicht . . . . . P.
3) Man wirft den Körper in das Pyknometer, füllt das Pyknometer bis oben und wägt wieder, Gewicht . . . . . P_1.

Das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit ist $P_f + P - P_1$, das Volumen derselben, also auch das des eingebrachten Körpers, ist nach Formel 2) S. 52:

$$\frac{P_f + P - P_1}{d_1},$$

also ist das specifische Gewicht des Körpers:

$$d = \frac{P \cdot d_1}{P_f + P - P_1}.$$

Beispiel: Chromalaun [$CrK(SO_4)_2 + 12H_2O = 499$]. Flüssigkeit: Terpentinöl $d = 0{,}88$; $P_f = 15{,}960$; $P = 2{,}295$; $P_1 = 17{,}130$. $P_f + P - P_1 = 1{,}125$; $d = 1{,}8$; $V_{Mol} = 277$.

c) Körper, die nicht an der Luft gewogen werden dürfen.

Ein Beispiel hierfür bietet das Natrium, das nur unter Petroleum etc. gewogen werden kann. Die Bestimmung des specifischen Gewichtes des Natriums setzt sich aus drei Operationen (α, β, γ) zusammen.

α) Bestimmung des specifischen Gewichtes des Petroleums d_1 nach der Methode S. 59, wodurch zugleich das Gewicht des mit Petroleum gefüllten Pyknometers sich ergiebt zu P_f.

β) Bestimmung des Gewichtes des Natriums:

1. Das Pyknometer wird etwa bis zur Hälfte mit Petroleum gefüllt. Gewicht p.

2. In das Petroleum wird möglichst viel Natrium gebracht, und das Gewicht des Pyknometers wieder bestimmt; p'. Daraus ergiebt sich das Gewicht des Natriums:

$$P = p' - p.$$

γ) Bestimmung des specifischen Gewichtes des Natriums. Man füllt das Pyknometer ganz mit Petroleum. Gewicht P_1.

Dann ist genau wie oben:

$$d = \frac{P \cdot d_1}{P_f + P - P_1}.$$

Beispiel: α) Vergl. das Beispiel S. 60. $P_p = 7{,}280$; $P_w = 17{,}269$ g. $P_w - P_p = V_1 = 9{,}989$ cbcm; $P_f = 15{,}462$; $P_f - P_p = P_1 = 8{,}182$ g; $d_1 = 0{,}819$.
β) $p = 11{,}653$; $p' = 12{,}580$; $p' - p = P = 0{,}927$ g.

γ) $P_1 = 15{,}692$. Verdrängt wurden also $P_f + P - P_1 = 0{,}697$ g Petroleum. Diese entsprechen $0{,}697 : 0{,}819 = 0{,}851$ cbcm $= V$. Also $d = P : V = 0{,}927 : 0{,}851 = 1{,}089$. $V_{At} = 23 : 1{,}089 = 21$.

2. Hydrostatische Methoden.

Archimedisches Princip: Ein Körper verliert in einer Flüssigkeit so viel an Gewicht, als das von ihm verdrängte Volumen der Flüssigkeit wiegt. Diesen Gewichtsverlust nennt man auch Auftrieb.

Zur Demonstration des Archimedischen Princips dient der Apparat Fig. 37. Derselbe besteht aus dem massiven Messingcylinder p, der genau in die (in der Figur aufgeschnitten gezeichnete) Hülse c hineinpasst.

Fig. 37.

Uebung. 1) Man hängt den Apparat (Fig. 37) an der kürzeren, rechten Waagschale der hydrostatischen Waage (Fig. 30) auf, und tarirt ihn.

2) Man hängt an einem feinen Draht den inneren Theil p an dem Haken x in Wasser, die rechte Seite des Waagebalkens steigt, wird also leichter.

3) Man giesst in den Hohlraum von c Wasser. Sowie derselbe ganz erfüllt ist, ist das Gleichgewicht wieder hergestellt; der Gewichtsverlust ist also gleich dem Gewicht des das Innere von c füllenden Wassers, also gleich dem Gewicht des von dem Cylinder p verdrängten Wasservolumens.

Ist das Gewicht des Körpers in der Luft Pg und unter Wasser von 4^0 $P_w g$, so wiegt das von ihm verdrängte Volumen Wasser $(P - P_w)$ g; also ist das verdrängte Volumen V, das demjenigen des Körpers gleich ist: $(P - P_w)$ cbcm. Das specifische Gewicht ist also:

$$d = \frac{P}{V} = \frac{P}{P - P_w}.$$

Bestimmen wir nicht den Gewichtsverlust in Wasser, sondern in einer Flüssigkeit vom specifischen Gewicht d_1, und ist das Gewicht des Körpers in der letzteren P_f, so ist das Gewicht des verdrängten Volumens dieser Flüssigkeit $(P - P_f)$; 1 cbcm dieser Flüssigkeit wiegt aber d_1 g, also ist das vom Körper verdrängte Volumen, welches dem des Körpers gleich ist:

$$\frac{P - P_f}{d_1},$$

und es wird das specifische Gewicht:

$$d = \frac{P . d_1}{P - P_f}.$$

Zur Bestimmung der Gewichte der zu untersuchenden Körper und des Gewichtsverlustes derselben bedient man sich entweder der gewöhnlichen Waage oder aber besonderer Vorrichtungen.

I. Bestimmungen mit der gewöhnlichen Waage.

1. Feste Körper.

a) Feste Körper, die schwerer als Wasser und in Wasser unlöslich sind:

1) Man wägt den Körper für sich; sein Gewicht sei P.

2) Er wird dann an einem dünnen Draht, an dem Ende A (Fig. 30) des Waagebalkens aufgehängt, unter Wasser getaucht und gewogen; das Gewicht von Draht und Körper zusammen sei P_w.

3) Dann entfernt man den Körper, wägt den Draht, während er ebenso weit in die Flüssigkeit eintaucht, wie wenn er den Körper trägt; sein Gewicht sei P_2. Das specifische Gewicht ist dann

$$d = \frac{P}{P - (P_w - P_2)}.$$

Denn $P_w - P_2$ ist das Gewicht des Körpers im Wasser, sein Gewichtsverlust also $P - (P_w - P_2)$.

Ist das Gewicht des Drahtes P_2 sehr klein [1]), so kann man $P_2 = 0$ setzen und es wird:

$$d = \frac{P}{P - P_w}.$$

Beispiel: Bleiglanz (PbS = 238) an einem etwa 1 mm dicken Messingdraht. $P = 16{,}252$; $P_w = 15{,}205$; $P_2 = 1{,}102$; $P_w - P_2 = 14{,}103$; $P - (P_w - P_2) = 2{,}149$; $d = 7{,}6$ $V_{Mol} = 31$.

Zinn (Sn = 119) gab $d = 7{,}3$, also $V_{At} = 16$. Zinkblende (ZnS = 97) gab $d = 4{,}0$, also $V_{Mol} = 24$.

An sehr dünnem, ausgeglühtem Messingdraht wurden gewogen: Magnesium (Mg = 24); $d = 1{,}7$, $V_{At} = 14$. Kupfer (Cu = 63); $d = 7{,}9$, $V_{At} = 8$. Aluminium (Al = 27); $d = 2{,}6$, $V_{At} = 10$.

b) Feste, in Wasser lösliche Körper. Man bestimmt den Gewichtsverlust desselben in irgend einer Flüssigkeit, in welcher er sich nicht löst, vom specifischen Gewicht d_1 in derselben Weise wie bei a, dann ist:

$$d = \frac{P \cdot d_1}{P - P_f}.$$

Beispiel: Krystall von Kalialaun [$AlK(SO_4)_2 + 12\,H_2O = 474$], $P = 4{,}551$. Krystall in Terpentinöl ($d_1 = 0{,}88$) $P'_f = 2{,}253$. P_2 (Gewicht des Drahtes in Terpentinöl) = 0,052. $P_f = P'_f - P_2 = 2{,}201$. $P - P_f = 2{,}350$. $d = 1{,}7$. $V_{Mol} = 279$.

---

[1]) Ist der Draht sehr dünn, so kann das nach unten ziehende Gewicht der an ihm capillar in die Höhe steigenden Flüssigkeit grösser sein als der Auftrieb, so dass er beim Eintauchen statt einer Gewichtsverminderung eine Gewichtsvermehrung erfährt.

c) Feste Körper, welche specifisch leichter sind als Wasser. In diesem Falle würde der unter Wasser an einem Draht aufgehängte Körper schwimmen; er muss daher mit einem solchen von grösserem specifischen Gewicht beschwert werden; dazu hängt man an den Draht unter Wasser einen Kupferdrahtbügel (vergl. Fig. 38).

Uebung.

1) Man wägt den Körper in der Luft, Gewicht . P.
2) Man wägt den Draht mit dem im Wasser befindlichen Kupferbügel, Gewicht . . . . . P_1.
3) Man wägt den Körper unter Wasser mit Draht- und Kupferbügel, Gewicht . . . . . P_2.

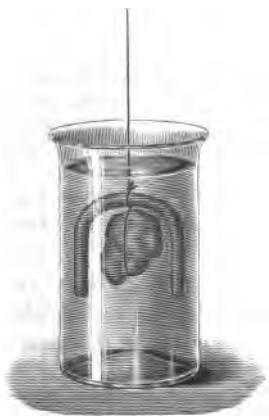
Das Gewicht des Körpers unter Wasser ist dann . $P_2 - P_1$.
Der Gewichtsverlust . . . . . $P - (P_2 - P_1)$,
also ist:

$$d = \frac{P}{P - (P_2 - P_1)}.$$

Beispiel: Paraffinklotz: $P = 14{,}20$ g. Dünner Messingdraht mit Kupferbügel: $P_1 = 2{,}82$; $P_2 = 1{,}47$; $P_2 - P_1 = -1{,}35$ (negatives Vorzeichen: Auftrieb!); $P - (P_2 - P_1) = 14{,}20 + 1{,}35 = 15{,}55$; $d = 0{,}91$.

d) Feste, pulverförmige Körper. Das Pulver wird in eine geeignete Masse, etwa Vaselin, eingeschmolzen und mit dieser zugleich in Luft und in Wasser gewogen.

Fig. 38.



Man verwendet dazu einen circa $2^1/_2$ cm weiten, 3 cm langen, kleinen Glaseimer, der von einem Reagirglase abgesprengt wird. Am oberen Rande sind durch drei Oeffnungen drei feine Messingdrähte gezogen, mittelst deren der Eimer an der hydrostatischen Waage aufgehängt wird.

Uebung. 1) Der Glaseimer wird auf ein Drittel mit Vaselin gefüllt, welches man durch gelindes Erwärmen vollständig schmilzt und erstarren lässt. Zum Vertreiben der Luftblasen aus der geschmolzenen Masse dient ein kleiner Glasspatel. Der Glasspatel wird dabei in das Gefäss gelegt.

2) Gewicht des Eimers in Luft . . . . . p_l.
3) Gewicht in Wasser . . . . . p_w.
4) Man trocknet den Eimer mit Fliesspapier innen und aussen ab, erwärmt ihn, bis das Vaselin schmilzt und schüttet so viel von dem zu untersuchenden Pulver hinein, dass der Eimer etwa bis zur Hälfte gefüllt ist. Durch Rühren mit dem Spatel werden alle Luftblasen ausgetrieben.
5) Gewicht des Ganzen in Luft . . . . . P_l.
6) Gewicht des Ganzen in Wasser . . . . . P_w.

$P = P_l - p_l$ ist dann das Gewicht des Körpers in Luft, $P' = P_w - p_w$ in Wasser, also $P - P'$ der Gewichtsverlust $= V$. Die Dichte ist also:

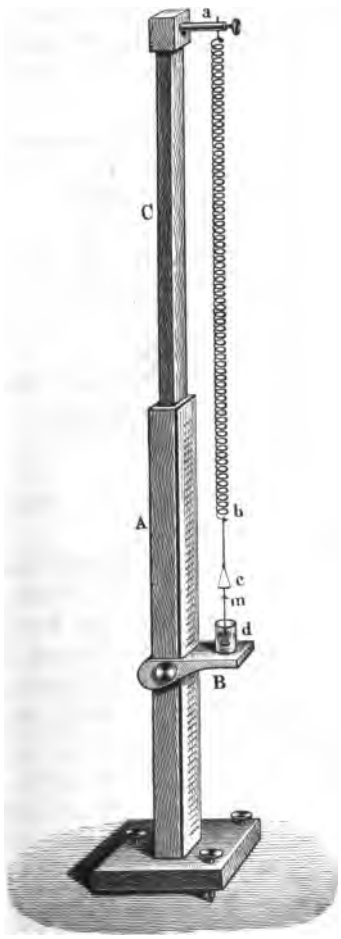
$$d = \frac{P}{P - P'}.$$

Beispiel: Glaspulver. $p_l = 10{,}590$ g; $p_w = 3{,}030$ g; $P_l = 16{,}159$ g; $P_w = 6{,}370$ g; $P = 5{,}569$ g; $P' = 3{,}340$ g; $V = P - P' = 2{,}229$ ccm; $d = 2{,}498$.

2. Flüssigkeiten.

Wägt man denselben Körper vom Volumen v in zwei Flüssigkeiten von den specifischen Gewichten d_1 und d_2, so sind die Gewichtsverluste R_1 und R_2 gleich den Gewichten der verdrängten Volumina, also:

Fig. 39.



$$R_1 = d_1 v \text{ und } R_2 = d_2 v,$$

das Verhältniss der specifischen Gewichte ist also

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{R_2}{R_1}$$

gleich dem Verhältniss der Gewichtsverluste.

Bezeichnet R_1 den Gewichtsverlust in Wasser, so ist $d_1 = 1$, also

$$d_2 = \frac{R_2}{R_1}.$$

Uebung. 1) Man bestimmt das Gewicht P eines an einem dünnen Messingdraht aufgehängten Glaskörpers.

2) Man hängt den Körper in Wasser; Gewicht P_1, also Gewichtsverlust $R_1 = P - P_1$.

3) Man hängt den Körper in Terpentinöl; Gewicht P_2, also Gewichtsverlust $R_2 = P - P_2$.

Dann ist die Dichte des Terpentinöles

$$d_2 = \frac{P - P_2}{P - P_1}.$$

Beispiel: $P = 12{,}67$ g; $P_1 = 7{,}60$ g, also $R_1 = 5{,}07$ g; $P_2 = 8{,}26$ g; $R_2 = 4{,}41$ g; $d = 0{,}87$.

II. Bestimmungen mit besonderen Vorrichtungen.

A. Jolly's Federwaage (Fig. 39, a. v. S.).

Sie besteht aus einer bei *a* befestigten Drahtspirale[1]), bei *b* ist ein mit zwei Waagschalen *c* und *d* versehener Draht angebracht, von denen sich die eine in der Luft befindet, die andere in einer Flüssigkeit. Die letztere dient zugleich zur Dämpfung der Schwingungen. Bei *m* ist eine Marke, zweckmässig eine kleine, längliche, weisse Glasperle. In das Stativ *A* ist ein mit Millimetertheilung versehener Spiegelglasstreifen eingelegt.

Die Anwendung der Federwaage beruht darauf, dass die Verlängerungen der Feder proportional den Aenderungen der spannenden Gewichte sind. Die Verlängerung misst man an der Verschiebung der Marke *m*. Dazu visirt man über den oberen Rand der Perle nach seinem Spiegelbilde, so dass letzteres sich mit dem direct gesehenen Rande deckt; man vermeidet auf diese Weise die Parallaxe (vergl. oben) und blickt dabei stets senkrecht zu der Scala.

Uebung. 1. Prüfung des Gesetzes: Die Verlängerungen sind proportional den aufgelegten Gewichten.

		Lage
1)	Man liest ab die Lage von *m* ohne Belastung	a_0
2)	„ „ „ „ „ „ „ mit 0,1 g Belastung	a_1
3)	„ „ „ „ „ „ „ mit 0,2 g Belastung	a_2
4)	„ „ „ „ „ „ „ mit 0,*n* g Belastung	a_n

Dann ist:

$a_2 - a_0 = 2\,(a_1 - a_0)$, $(a_3 - a_0) = 3\,(a_1 - a_0)$, $(a_n - a_0) = n\,(a_{n_1} - a_0)$, d. h. jedes 0,1 g der Belastung bringt eine gleiche Dehnung hervor.

Die 0,1 entsprechende Dehnung ist $\frac{a_n - a_0}{n} = \alpha$.

Beispiel: $a_0 = 323{,}5$; $a_1 = 333{,}0$; $a_2 = 343{,}0$; $a_3 = 352{,}5$; $a_4 = 362{,}0$; $a_7 = 392{,}0$; $\alpha = (a_7 - a_0) : 7 = 68{,}5 : 7 = 9{,}8$.

Uebung. 2. Bestimmung des specifischen Gewichts. Man liest den Stand von *m* unbelastet ab, dann legt man den Körper in die Schale *c*, endlich in die Schale *d* und liest jedesmal den Stand von *m* ab. Dabei verschiebt man das Gefäss *d* mittelst des Halters *B* stets so, dass die Schale in der Mitte desselben schwebt; ist die Schale *d* an drei Fäden aufgehängt, so muss die zwischen ihnen eventuell entstehende Wasserhaut durchstossen werden.

Stand von *m* unbelastet	a_0
Körper in der Schale *c*	a_1
Körper in der Schale *d*	a_2

Dann ist das Gewicht des Körpers in Luft $\frac{a_1 - a_0}{\alpha}$ 0,1 g, das Ge-

[1]) Den Apparaten sind mehrere Spiralen beigegeben, die dickeren dienen für die schwereren, die dünneren für die leichteren Körper.

wicht in Wasser $\frac{a_2 - a_0}{\alpha}$ 0,1 g, der Gewichtsverlust $\frac{a_1 - a_2}{\alpha}$ 0,1 g, also das specifische Gewicht:

$$d = \frac{a_1 - a_0}{a_1 - a_2}.$$

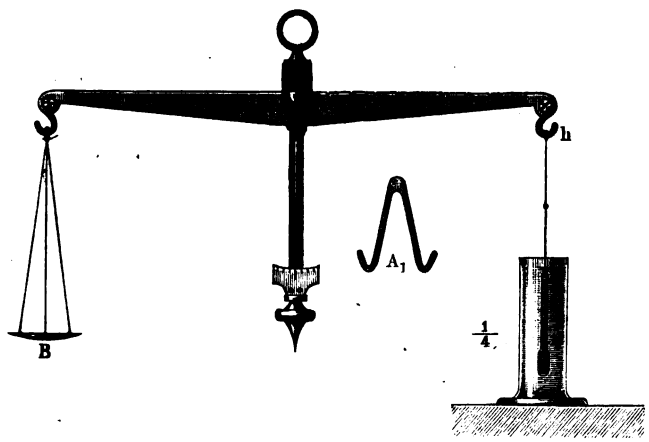
Man sieht, dass der Factor α aus der Endgleichung herausfällt.

Beispiel: Ein Stück Glas in der Schale c: $a_1 = 450{,}3$; in der Schale d: $a_2 = 399{,}0$; $d = 126{,}8 : 51$; $3 = 2{,}5$.

B. Westphal-Mohr'sche Waage (Fig. 40 resp. 41 a. f. S.).

An dem Ende eines in 10 gleiche Theile getheilten Waagebalkens hängt ein kleines Thermometer, das in die zu untersuchende Flüssigkeit gesenkt werden kann und deren Temperatur abzulesen gestattet. Ein Gegengewicht K (Fig. 41) hält dem Thermometer, wenn es sich

Fig. 40.



in der Luft befindet, das Gleichgewicht. Die zur Wägung dienenden Gewichte sind Reiter und haben drei verschiedene Grössen. Die beiden einander gleichen, grössten A_1 und A_2 sind gleich dem Gewichte des vom Senkkörper verdrängten destillirten Wassers bei 15° C., jedes derselben compensirt also gerade den Auftrieb im Wasser, wenn es an den Haken h gehängt wird. Das folgende Gewicht B wiegt $^1/_{10}$, das letzte C $^1/_{100}$ der ersten.

Wird das Thermometer in irgend eine andere Flüssigkeit gehängt, so können wir den Auftrieb durch Anhängen der Reiter an passende Stellen compensiren. Erhalten wir Gleichgewicht, wenn wir die drei Reiter A, $B = A/_{10}$ und $C = A/_{100}$ auf die Theilstriche a b c des Waagebalkens setzen, so ist nach dem Hebelprincip der Gewichtsverlust

$$S = \frac{a}{10} A + \frac{b}{10}\frac{A}{10} + \frac{c}{10}\frac{A}{100} = 0,\ a\ b\ c\ .\ A.$$

Da der Gewichtsverlust in Wasser gleich A ist (S. 67), so ist die Dichte der Flüssigkeit

$$d_2 = \frac{S}{A} = 0, a\ b\ c.$$

Uebung. 1) Man bringt zunächst die Waage ins Gleichgewicht. 2) Man taucht das Thermometer in Wasser und überzeugt sich, dass das Gewicht A dem Auftrieb das Gleichgewicht hält.

Fig. 41.

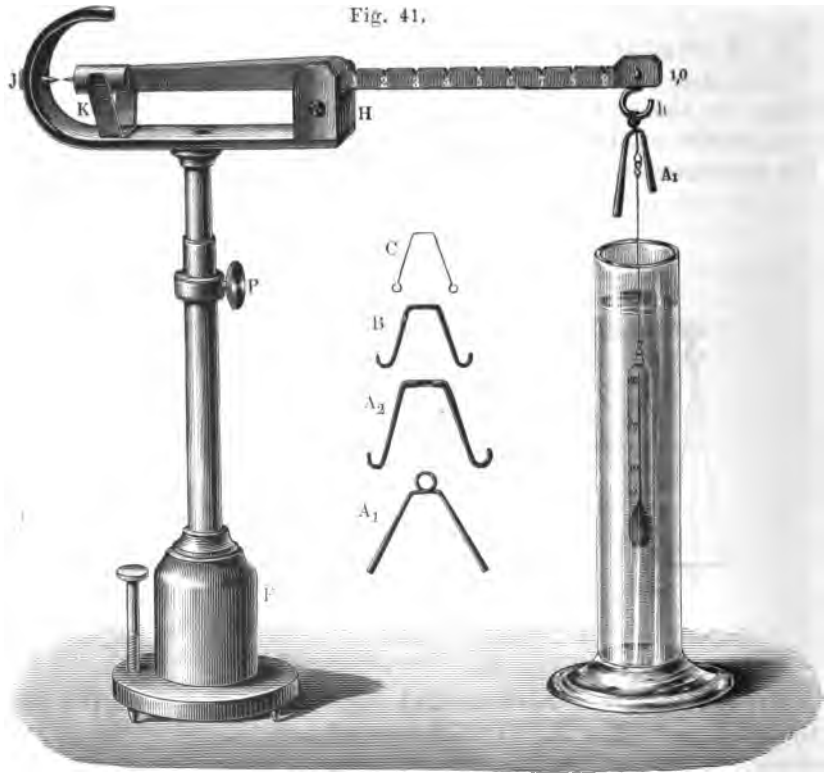


Fig. 42.

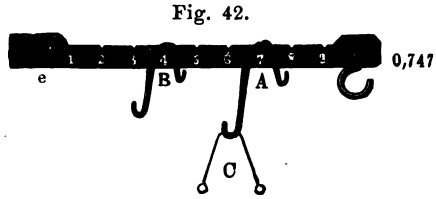
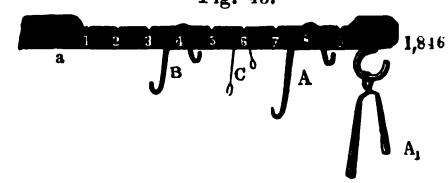


Fig. 43.



3) Man ersetzt das Wasser durch Alkohol und bestimmt die Lage $a\ b\ c$ der drei Reiter, bei der wieder Gleichgewicht entsteht. Das specifische Gewicht ist dann $d_2 = 0, a\,b\,c$, z. B. im Fall der Fig. 42 0,747.

4) Man ersetzt das Wasser durch eine Salzlösung und bestimmt wieder die Lagen *a b c*. Hier, bei specifischen Gewichten grösser als 1, wendet man noch den zweiten Reiter $A_2 = A_1$ an, den man am Ende des Waagebalkens lässt. Dann ist

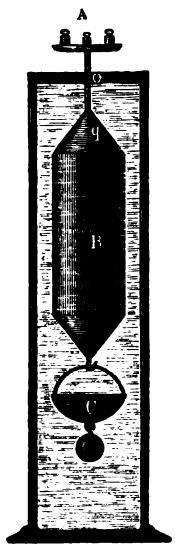
$$d_2 = 1, \; a \; b \; c,$$

im Fall der Fig. 43 z. B. 1,846.

C. Nicholson'sche Senkwaage (Fig. 44).

Dieselbe besteht aus einem cylindrischen Hohlkörper *B*, an dem oben mittelst eines Stabes eine Schale zum Auflegen von festen Körpern befestigt ist, während an dem unteren Ende eine Waagschale zu demselben Zwecke angebracht ist. Soll der Schwimmkörper *B*, der für sich ohne Gewichte auf *A*, nur bis *q* eintaucht, bis zur Marke bei *o* eintauchen, so muss man auf *A* ein bestimmtes Gewicht *P* auflegen; ist die Senkwaage durch irgend einen Körper vom Gewichte π von vornherein belastet, so hat man bis zum Eintauchen bis zur Marke *o* nur aufzulegen ein Gewicht $p = P - \pi$. Man erhält so das Gewicht $\pi = P - p$.

Fig. 44.



Uebung. Man legt Gewichte auf *A*, bis die Senkwaage bis zur Marke *o* eintaucht:

1) wenn kein Körper auf *A* liegt, Gewicht: P,
2) wenn der Körper auf *A* liegt, Gewicht: P_1,
3) wenn der Körper auf *C* liegt, Gewicht: P_2.

$P_2 - P_1$ ist die Aenderung des Gewichtes, wenn der Körper von der oberen Waagschale in der Luft in die untere im Wasser kommt, also der Gewichtsverlust im Wasser. Dann ist:

$$d = \frac{P - P_1}{P_2 - P_1}.$$

Beispiel: $P = 32{,}7$. Ein Messingklötzchen auf *A*: $P_1 = 12{,}0$, auf *C*: $P_2 = 14{,}4$; $P_2 - P_1 = 2{,}4$; $P - P_1 = 20{,}7$; $d = 8{,}6$.

D. Aräometer.

I. Princip. Wenn ein Körper schwimmt, so taucht er so tief in die Flüssigkeit ein, dass die von ihm verdrängte Flüssigkeit ebenso viel wiegt als er selbst.

II. Apparat. Das Aräometer (Fig. 46 a. f. S.) besteht aus einem unteren weiteren Theile und einem oberen engeren, genau cylindrischen Theile. An den unteren Theil ist eine kleine Kugel angeblasen, die zum Theil mit Quecksilber gefüllt ist; das Gewicht desselben bewirkt, dass das Aräometer in aufrechter Stellung schwimmt. Vielfach ist dieses

Quecksilber zugleich zur Füllung einer Thermometerkugel benutzt, deren Capillare in den oberen cylindrischen Theil des Instrumentes hineinragt.

Auf dem oberen engeren Theile des Aräometers ist eine Theilung angebracht, an der direct dort die specifischen Gewichte abgelesen werden, wo die Flüssigkeitsoberfläche die Theilung schneidet.

Bei Aräometern für Flüssigkeiten von geringerem specifischen Gewicht als Wasser liegt der dem specifischen Gewicht 1,000 entsprechende Punkt am untersten Ende der Scala, bei solchen für Flüssigkeiten von grösserem am obersten.

Uebung (vergl. Fig. 45). Der aus zwei hohlen Messingkugeln, dem cylindrischen Verbindungsstück und einem Stiele bestehende Schwimmkörper *A* wird, zusammen mit dem Becherglase *B*, auf einer gewöhnlichen Waage durch Schrot tarirt. Der Glascylinder *C*, in dem seitlich das Rohr *E* eingekittet ist, wird bis zur Mündung *F* desselben mit Wasser gefüllt. Hierauf wird das Becherglas *B* unter *E* gestellt und der Körper *A* in das Gefäss *C* gesenkt. Er verdrängt eine gewisse Menge Wasser, die nach *B* hinüberfliesst, und deren Volumen der Tiefe seines Eintauchens entspricht. Stellt man das Becherglas sammt Inhalt, aber ohne den Schwimmkörper, wieder auf die Waage, so tritt bei derselben Tara wie vorher Gleichgewicht ein. Das Gewicht der nach *B* hinübergedrängten Wassermenge ist also gleich dem Gewichte von *A*.

Fig. 45.

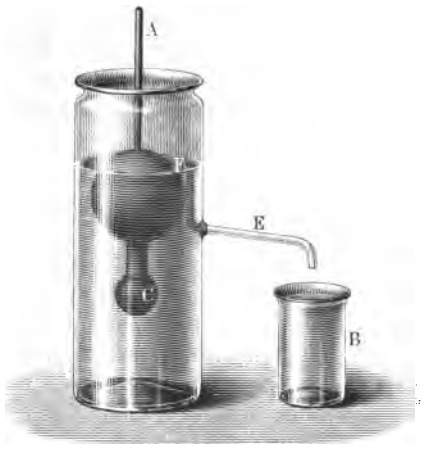


Fig. 46.

III. **Uebung.** Man bestimmt das specifische Gewicht mit dem Aräometer von demselben Alkohol und derselben Kochsalzlösung, welche bei den Versuchen mit der Westphal'schen Waage Verwendung gefunden haben (S. 69).

Allgemeines: Contraction beim Mischen zweier Flüssigkeiten. Mischen wir ein Volumen V_1 einer Flüssigkeit mit einem Volumen V_2 einer zweiten Flüssigkeit, deren specifischen Gewichte s_1 und s_2 sind, so müsste, wenn keine Volumänderung (Contraction oder

Dilatation) einträte, das specifische Gewicht s_3 der Mischung sich bestimmen aus:

$$V_1 s_1 + V_2 s_2 = (V_1 + V_2) s_3,$$

denn:

$$V_1 s_1 + V_2 s_2 \text{ und } (V_1 + V_2) s_3$$

sind nach Formel 3) auf Seite 55 die Gewichte der ungemischten Flüssigkeiten und des Gemisches, also ist:

$$s_3 = \frac{V_1 s_1 + V_2 s_2}{V_1 + V_2}.$$

Findet aber eine Volumänderung statt, so dass das Endvolumen $V_3 \gtrless V_1 + V_2$ wird, und finden wir ein specifisches Gewicht s_3', so ist nach der Formel 2) auf Seite 52, dort steht S statt s hier:

$$V_3 = \frac{V_1 s_1 + V_2 s_2}{s_3'}.$$

Die Volumänderung in Bruchtheilen des ursprünglichen Volumens ist dann:

$$C = \frac{V_1 + V_2 - V_3}{V_1 + V_2} = \frac{(V_1 + V_2) s_3' - (V_1 s_1 + V_2 s_2)}{(V_1 + V_2) s_3'}.$$

Uebung. 1) Man bestimmt mit dem Aräometer das specifische Gewicht von Wasser s_1.

2) Man bestimmt mit dem Aräometer das specifische Gewicht von absolutem Alkohol s_2.

3) Man mischt 200 cbcm Alkohol V_2 und 100 cbcm Wasser V_1, die in Messcylindern sich befanden, welche in dasselbe Wasserbad tauchten.

4) Man bestimmt mit dem Aräometer das specifische Gewicht des Gemisches s_3'. Die Contraction ergiebt sich dann aus der Formel [1]).

Man fügt noch zweimal je 100 cbcm Wasser zu 200 cbcm des Gemisches und bestimmt wieder das specifische Gewicht des Gemisches s_3'' und s_3'''.

Beispiel: $s_1 = 0{,}998$, $s_2 = 0{,}817$, $s_3' = 0{,}900$, es ist also:

$$C = \frac{(200 + 100) . 0{,}900 - (200 . 0{,}817 + 100 . 0{,}998)}{(200 + 100) . 0{,}900} = \frac{1}{40};$$

weiter fand sich:

$$s_3'' = 0{,}944,$$

also:

$$C' = \frac{(200 + 100) . 0{,}944 - (200 . 0{,}900 + 100 . 0{,}998)}{(200 + 100) . 0{,}944} = \frac{1}{83}.$$

Allgemeines über Atomvolumen und Moleculärvolumen.

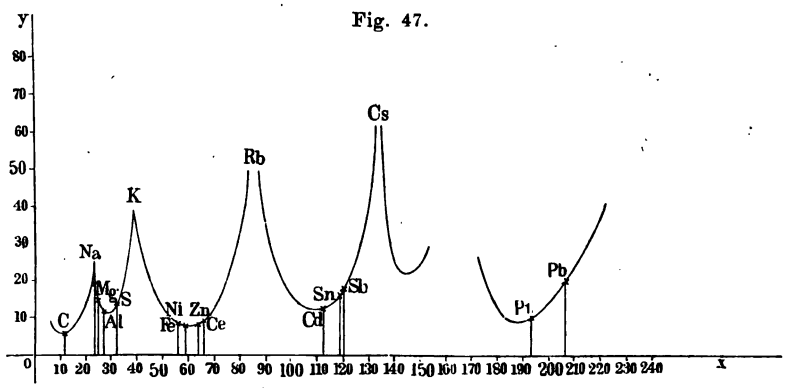
1. Das Atomvolumen. Um einen möglichst übersichtlichen Einblick in die Beziehungen zwischen zwei Grössen zu erhalten, stellt man

[1]) Bei dem Mischen entwickeln sich sehr feine Bläschen, da die Löslichkeit der Luft in einem Alkoholwassergemisch kleiner ist, als die mittlere Löslichkeit in den angewandten Substanzen.

dieselben, die eine als abhängig von der anderen, graphisch dar. Dazu wählt man ein rechtwinkeliges Coordinatensystem (Fig. 47 u. 48), trägt auf der Abscissenaxe, d. h. der Horizontalen ox, die unabhängige Grösse auf, auf der dazu senkrechten Ordinatenrichtung oy die abhängige. Zum Einzeichnen benutzt man Coordinatenpapier, d. h. ein durch horizontale und verticale Linien in kleine Quadrate getheiltes Papier. In unserem Falle betrachten wir das Atomgewicht als die unabhängige Grösse und verzeichnen von dem Punkte o an auf der Abscissenaxe ox in Abständen, die den Atomgewichten der einzelnen Elemente proportional sind, Punkte. Auf den Lothen in diesen Punkten tragen wir nach oben Längen ab, die jeweilig proportional sind den gefundenen Atomvolumen.

So wurde für das Eisen (vergl. S. 56) das Atomvolumen gleich 7,3 gefunden; das Atomgewicht des Eisens ist 56. Wir bezeichnen also auf

Fig. 47.



der horizontalen Axe den Punkt 56 und gehen auf der hier nach oben gehenden Linie um 7 Einheiten nach aufwärts. Dadurch gelangen wir zu dem durch ein × bezeichneten Punkt Fe.

Weiter finden wir für

	Atom-gewicht	Atom-volumen		Atom-gewicht	Atom-volumen
C (Graphit)	12	5	Cu	63	8
Na	23	24	Zn	65	9
Mg	24	14	Cd	112	12
Al	27	11	Sn	119	16
S	32	16	Sb	120	18
Fe	56	7,3	Pt	194	10
Ni	59	7	Pb	206	19

Wir wissen ausserdem noch, dass das Kalium (K = 39) auf Wasser schwimmt. Hätte es das specifische Gewicht 1, so wäre sein Atomvolumen 39. Ferner ist das specifische Gewicht von Rubidium (Rb = 85)

und Cäsium (Cs = 133) klein, also das Atomvolumen sehr gross. Tragen wir auf Grund dieser Bestimmungen Punkte in das Coordinatenpapier ein, und verbinden wir alle diese Punkte durch eine Curve, wie es in Fig. 47 angedeutet ist, so sehen wir, dass das Atomvolumen nicht mit dem Atomgewicht fortwährend wächst oder abnimmt, sondern abwechselnd zu- und abnimmt. Auf Elemente mit kleinem Atomvolumen folgen solche mit grösserem, auf diese wieder solche mit kleinerem, dann wieder solche mit grösserem u. s. w. Die Curve zeigt also einen sich mehrfach wiederholenden Hin- und Hergang, sie stellt eine periodische Anordnung dar.

Das Atomvolumen ist eine periodische Function des Atomgewichts.

In der folgenden Tabelle (s. S. 74) ist eine Zusammenstellung der Atomgewichte, specifischen Gewichte und Atomvolumen nach den neuesten Bestimmungen gegeben, danach ist die Curve (Fig. 48, s. S. 75) gezeichnet. Tabelle sowie Curve verdanken wir der grossen Güte des Herrn Prof. Dr. Seubert in Tübingen.

Mit wachsendem Atomgewicht nimmt das Atomvolumen regelmässig ab und zu. Die Curve, welche seine Aenderungen darstellt, wird durch fünf Maxima in sechs Abschnitte zerlegt, welche etwa die Form an einander gereihter Kettenlinien zeigen, unter denen die zweite und dritte und ebenso die vierte und fünfte einander sehr ähnlich sind und nahezu gleichen Stücken der Abscissenaxe entsprechen.

Die Stellung der Elemente auf der Curve hängt sehr nahe zusammen mit ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften, so dass an entsprechenden Stellen der einander ähnlichen Curvenstücke ähnliche Elemente stehen. Die Maxima der Curve werden durch leichte, die drei letzten Minima durch schwere Metalle gebildet. Ferner liegen analoge Elemente wie Cl, Br, J, oder S, Se, Te, oder Ca, Sr, Ba an entsprechenden Stellen der Curve Aber auch bei gleichen oder nahezu gleichen Atomvolumen sind die Eigenschaften sehr verschieden, je nachdem das Element auf einem steigenden oder fallenden Curvenaste liegt, je nachdem ihm also ein kleineres oder ein grösseres Atomvolumen zukommt als dem Elemente mit nächst grösserem Atomgewichte. Beispiele für diesen Satz liefern P und Mg, Cl und Ca, N und In, Mo und Cd u. a. m.

Dieses Auftreten periodischer Aenderungen in den Eigenschaften der Elemente, bei wachsendem Atomgewicht, fasst man unter dem Namen zusammen: Periodisches System der Elemente.

2. Das Molecularvolumen. Für feste Verbindungen gilt der Satz: Isomorphe Verbindungen haben sehr nahe gleiche Molecularvolumina.

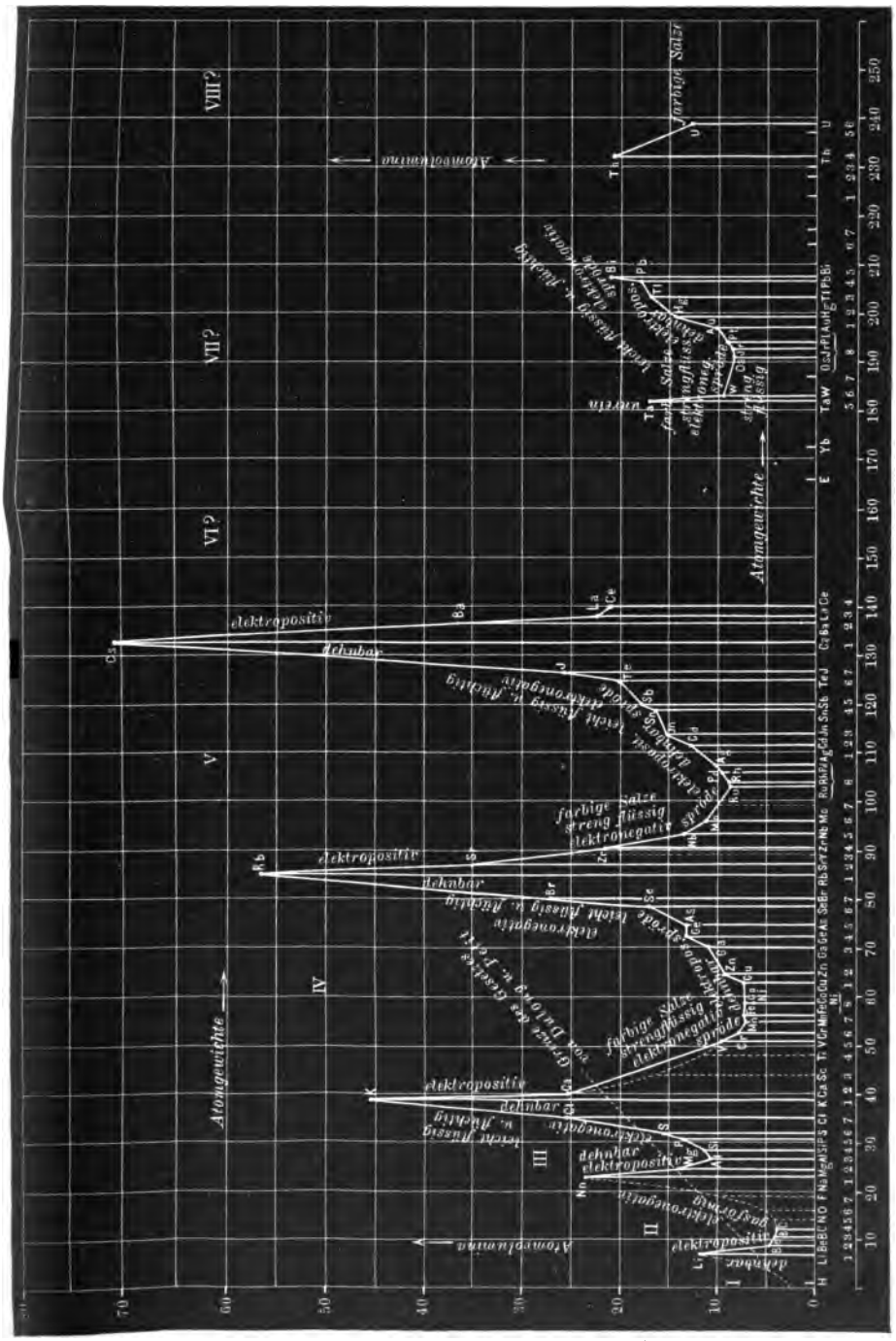
So wurde S. 61 das Molecularvolumen des Chromalauns zu 277 bestimmt, S. 63 das des Kalialauns zu 279.

Das Molecularvolumen ebenso wie das Atomvolumen stellt aber nicht den Raum dar, welchen die Molecüle selbst einnehmen, sondern in

Tabelle der Atomgewichte, specifischen Gewichte und Atomvolumen.

Elemente	Symbol	Atomgew.	Spec. Gew.	Atomvolum	Elemente	Symbol	Atomgew.	Spec. Gew.	Atomvolum
Wasserstoff . . .	H	1,00	—	—	Strontium . . .	Sr	87,3	2,50	34,9
Lithium	Li	7,01	0,59	11,9	Yttrium	Y	88,9	—	—
Beryllium	Be	9,08	1,85	4,9	Zirkonium . . .	Zr	90,4	4,15	21,7
Bor	B	10,9	2,68	4,0	Niobium	Nb	93,7	7,06	13,3
Kohlenstoff . . .	C	11,97	3,3	3,6	Molybdän	Mo	95,9	8,6	11,1
Stickstoff	N	14,01	—	—	Ruthenium . . .	Ru	103,5	12,26	8,4
Sauerstoff	O	15,96	—	—	Rhodium	Rh	104,1	12,1	8,6
Fluor	F	19,06	—	—	Palladium	Pd	106,2	11,5	9,2
Natrium	Na	23,00	0,97	23,7	Silber	Ag	107,66	10,5	10,2
Magnesium . . .	Mg	24,3	1,74	14,0	Cadmium	Cd	111,7	8,65	12,9
Aluminium . . .	Al	27,04	2,56	10,6	Indium	In	113,6	7,42	15,3
Silicium	Si	28,3	2,49	11,4	Zinn	Sn	118,8	7,29	16,3
Phosphor	P	30,96	2,3	13,5	Antimon	Sb	119,6	6,7	17,9
Schwefel	S	31,98	2,04	15,7	Tellur	Te	125,0	6,25	20,0
Chlor	Cl	35,37	1,38	25,6	Jod	J	126,54	4,94	25,6
Kalium	K	39,03	0,86	45,4	Cäsium	Cs	132,7	1,88	70,6
Calcium	Ca	39,91	1,57	25,4	Baryum	Ba	136,9	3,75	36,51
Scandium	Sc	43,97	—	—	Lanthan	La	138	6,2	22,26
Titan	Ti	48,0	—	—	Cer	Ce	139,9	6,7	20,88
Vanadin	V	51,1	5,5	9,3	Erbium	E	166	—	—
Chrom	Cr	52,45	6,8	7,7	Ytterbium . . .	Yb	172,6	—	—
Mangan	Mn	54,8	8,0	6,9	Tantal	Ta	182	10,8	16,9
Eisen	Fe	55,88	7,8	7,2	Wolfram	W	183,6	19,13	9,6
Kobalt	Co	58,6	8,5	6,9	Osmium	Os	191	22,48	8,5
Nickel	Ni	58,6	8,8	6,7	Iridium	Ir	192,5	22,42	8,6
Kupfer	Cu	63,18	8,9	7,1	Platin	Pt	194,3	21,50	9,1
Zink	Zn	65,1	7,15	9,1	Gold	Au	196,7	19,3	10,2
Gallium	Ga	69,9	5,96	11,7	Quecksilber . . .	Hg	199,8	13,59	14,7
Germanium . . .	Ge	72,3	5,47	13,2	Thallium	Tl	203,7	11,86	17,2
Arsen	As	74,9	5,67	13,2	Blei	Pb	206,4	11,38	18,1
Selen	Se	78,87	4,6	17,1	Wismuth	Bi	207,3	9,82	21,1
Brom	Br	79,76	2,97	26,9	Thorium	Th	232,0	11,23	20,7
Rubidium	Rb	85,2	1,52	56,1	Uran	U	239,0	18,69	12,8

Fig. 48.


Atomvolumina
Atomgewichte
elektropositiv
dehnbar
farbige Salze
strengflüssig
elektronegativ
sprödes
leicht flüssig u. flüchtig
elektronegativ
Grenze des Gesetzes von Dulong u. Petit
I
II
III
IV
V
VI?
VII?
VIII?

ihm ist auch noch der zwischen den Molecülen befindliche, von gewöhnlicher Materie freie Raum enthalten. Die experimentell bestimmte Dichte ist nicht diejenige der Molecüle selbst, d. h. der Quotient aus ihrer Masse durch den von ihnen selbst eingenommenen Raum, sondern der Quotient aus ihrer Masse durch den von ihnen selbst eingenommenen Raum plus den zwischen ihnen liegenden Räumen, worauf schon Berzelius hinwies.

Das Molecularvolumen giebt daher offenbar nur dann ein relatives Maass für die Volumina der Molecüle verschiedener Körper, wenn entweder die sämmtlichen Molecüle genau an einander liegen (dann müssten wir eine continuirliche Raumerfüllung durch die Materie annehmen), oder wenn das Gesammtvolumen bei allen Körpern genau das gleiche Vielfache des Volumeninhalts der Molecüle selbst ist. Temperaturen und Drucke, bei denen man am ehesten einfache Beziehungen erwarten könnte, hat man früher als entsprechende Zustände bezeichnet. Für die festen Körper sollten es die Schmelzpunkte, für die Flüssigkeiten die Temperaturen sein, bei denen ihre Dämpfe gleiche Spannkräfte besitzen, also z. B. die Siedepunkte (vergl. Bestimmung der Molecularvolumina beim Siedepunkte).

3. Abhängigkeit des Molecularvolumens einer Verbindung von dem Atomvolumen der darin enthaltenen Elemente.

Man kann nach der Bestimmung der Molecularvolumina die Frage stellen, ob sich dieselben als Summe der Volumina der in ihnen enthaltenen Atome darstellen.

Ist z. B. eine Verbindung $A_a B_b C_c D_d \ldots$ gegeben ($A B C D$ sind die Zeichen für die Elemente, und die Indices geben an, wie oft deren Atome in der Verbindung enthalten sind) mit dem Molecularvolumen V, und ist letzteres gleich der Summe der einzelnen Atomvolumina, so kann man folgende Gleichung aufstellen:

$$V = [a v_A + b v_B + c v_C + \cdots\cdots].$$

Dabei bezeichnen v_A, v_B . . . . . die Volumina welche den Atomen der Elemente $A B C \ldots$ zukommen. Um die Werthe von v_A, v_B, $v_C \ldots$ zu bestimmen, vergleicht man die Molecularvolumina von Verbindungen, in denen die a, b, $c \ldots$ verschiedene Werthe haben. Eventuell bestimmt man auch zunächst das Molecularvolumen eines Atomcomplexes $A_a B_b$. Dies ist z. B. der Fall, wenn man die Molecularvolumina der einzelnen Glieder einer homologen Reihe von einander subtrahirt. Dann erhält man die Molecularvolumina von CH_2. Eine Vergleichung der Aldehyde mit den Säuren liefert $v(O)$, eine Vergleichung von Oxyden und Sulfiden hieraus dann $v(S)$. Hat man das Atomvolumen des Wasserstoffs gefunden, so folgen diejenigen des Chlors, Broms, Jods etc. aus den Halogensubstitutionsproducten. Zu beachten ist bei diesen Berechnungen stets, ob die Art der Bindung der Elemente in den betreffenden Verbindungen eine gleiche ist oder nicht, ob Doppelbindungen (Lücken nach Brühl) auftreten und so fort.

Wir müssen indess bemerken, dass die oben aufgestellte Gleichung durchaus keine allgemeine Gültigkeit hat, ganz abgesehen davon, dass die einzelnen Elemente meist nicht mit dem Atomvolumen in die Verbindung eintreten, welches ihnen im unverbundenen Zustande zukommt. Wir fanden z. B. auf S. 63 für PbS und ZnS die Molecularvolumina 31 bezw. 24. Für die Elemente S, Pb und Zn hatte sich ergeben $V_{At} = 16$, 18 und 9, die Summen der betreffenden Atomvolumina sind hier 34 und 27, also beide um drei Einheiten grösser als die gefundenen Molecularvolumina.

V. Verhalten der Gase bei Druck- und Temperaturänderungen.

1. Das Volumenometer (Stereometer).

Gebraucht wird: Das Volumenometer (Fig. 49), Statif mit Rolle und Schnur, Paraffinklotz von cylindrischer Form, Becherglas, ein Stück Gummischlauch, ein Einsatz aus Pappe.

I. Princip. Bei dem Volumenometer kommt zur Anwendung das Boyle'sche (Mariotte'sche) Gesetz:

Die von derselben Quantität Gas eingenommenen Volumina verhalten sich bei constanter Temperatur und bei verschiedenen Drucken umgekehrt wie die Drucke.

Sind V_1 und V_2 die Volumina, welche dieselbe Gasmenge bei den Drucken p_1 und p_2 einnimmt, so ist:

$$V_1 : V_2 = p_2 : p_1 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

und

$$V_1 p_1 = V_2 p_2.$$

Bei den Volumenometern wird ein bekanntes Gasvolumen V durch Einbringen eines festen oder flüssigen Körpers um das zu bestimmende Volumen φ desselben vermindert und aus den Druckänderungen, die eintreten, wenn man die Volumina V resp. $V - \varphi$ in messbarer Weise verändert, ein Rückschluss auf das unbekannte Volumen φ gemacht (vergl. III. und IV.).

Fig. 49.

II. Apparat. Das Volumenometer nach Say besteht aus einem weiten cylindrischen Gefäss A mit abgeschliffenem Rande a und aufgeschliffenem Deckel d mit Hahn H. An A ist ein cylindrisches, in Millimeter von 0 bis Z getheiltes Glasrohr B angesetzt. Dieses taucht in ein mit Wasser gefülltes Standgefäss W. Der Deckel d wird nach Einfetten des Randes a auf diesen luftdicht aufgedrückt. Um Erwärmungen zu vermeiden, fasst man das Gefäss A während der Messung nicht mit den Händen an, sondern zieht es an einem Faden s, der über eine Rolle geht, in die Höhe. Derselbe theilt sich oberhalb von R in drei Theile, die um a geschlagen

sind. Hier ist das Volumen von A dasjenige Volumen V, welches durch das Einbringen des zu messenden Körpers verändert wird.

III. **Uebung.** 1) Man füllt W bis zum Nullpunkt der Scala auf B mit Wasser, setzt den Deckel bei geöffnetem Hahn H auf und lässt den Apparat einige Zeit stehen, bis alle Theile eine constante Temperatur angenommen haben.

2) Man schliesst H und zieht das Volumenometer um einen beliebigen Betrag empor, liest die Stellung des Wassers im getheilten Rohre ab: O mm, und die Stellung des Wasserspiegels unten an der Scala: U mm.

3) Man legt in A den zu messenden Körper, etwa einen Paraffinklotz, und drückt den Deckel bei geöffnetem Hahn wieder auf. (Für die Uebungen ist es zweckmässig, den Körper möglichst gross zu wählen.)

4) Nach einiger Zeit schliesst man den Hahn und zieht das Volumenometer heraus; Stellung der Wassersäule im getheilten Rohre O' mm, Stellung des Wasserspiegels am getheilten Rohre: U' mm.

5) Man nimmt den Deckel ab, entfernt den Körper, füllt das getheilte Rohr bis zum Nullstrich mit Wasser und lässt dieses in ein Becherglas vom Gewichte p_1 g fliessen.

Man wägt von Neuem: p_2 g.

6) Man liest den Barometerstand b ab.

IV. Berechnung. Das einem Millimeter der von 0 bis Z gehenden Theilung entsprechende Volumen ist $(p_2 - p_0)/Z = c$ cbcm. Die Höhen der Wassersäulen, bei 2 und 4 sind $U - O$, bezw. $U' - O'$; durch Division durch 13,6 erhält man die Höhen entsprechender Quecksilbersäulen h und h'. Im Falle 2 hat man dann

$$\frac{V + Oc}{V} = \frac{b}{b - h} \quad \text{oder} \quad V = \frac{Oc\,(b - h)}{h}.$$

Im Falle 4 ist:

$$\frac{V - \varphi + O'c}{V - \varphi} = \frac{b}{b - h'},$$

d. h.

$$\varphi = V - \frac{O'c\,(b - h')}{h'}.$$

Beispiel: $O = 75$ mm; $U = 282$ mm; $O' = 29$ mm; $U' = 294$ mm; $p_2 - p_1 = 20$ g; $Z = 400$ mm; $b = 745$; $c = 1/20$; $V = 180$ cbcm.

$\varphi = 180 - 54 = 126$ cbcm. Aus directen Messungen an dem regelmässig gestalteten Stück ergab sich $\varphi = 123$ cbcm.

Das Volumenometer wird hauptsächlich zur Dichtebestimmung von pulverförmigen Körpern benutzt. Zu diesem Zwecke werden die Körper in einen kleinen Glascylinder gebracht, der den cylindrischen Raum A möglichst erfüllt und gleich von vorn herein in demselben steht.

2. Das Lufthermometer.

Gebraucht wird: Das Lufthermometer (Fig. 50), kleines Thermometer, grosser Cylinder oder Eisentopf als Wasserbad, Rührer, Dreifuss, grosser Brenner, Thermometer am Stativ zum Vergleichen, Pappschirm zwischen Lufthermometer und Wasserbad, eventuell wenn der Versuch bei 0° gemacht werden soll, Blechtopf mit Hahn am Boden zum Abfliessen des Wassers, Eis oder Schnee, Kathetometer.

I. Princip. Bei dem Lufthermometer kommt zur Anwendung das Charles'sche (oder Gay-Lussac'sche) Gesetz:

Die von derselben Quantität Gas eingenommenen Volumina wachsen bei constantem Drucke proportional mit der Temperatur. Die von derselben Quantität Gas ausgeübten Drucke wachsen bei constantem Volumen proportional mit der Temperatur.

Das Volumen einer abgeschlossenen Menge Gas sei V_0 bei der Temperatur 0° und dem Drucke p_0. Wir erhalten zunächst den Druck constant, dann ändert sich V_0 beim Erhitzen um t^0 um $\alpha V_0 t$. α ist der Ausdehnungscoëfficient; das Volumen bei t^0 ist also:

$$V_t = V_0 + \alpha V_0 t = V_0 (1 + \alpha t) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Halten wir das Volumen constant, so ändert sich p_0 beim Erhitzen um t^0 um $\alpha' p_0 t$, α' ist der Spannungscoëfficient (Ausdehnungscoëfficient bei constantem Volumen); der Druck bei t^0 ist also:

$$p_t = p_0 + \alpha' p_0 t = p_0 (1 + \alpha' t) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Dabei ist α sehr nahe gleich α'.

Die beiden Gleichungen 1) und 2) sind, wenn man $\alpha = \alpha'$ setzt, zwei specielle Fälle einer allgemeineren, welche das Boyle-Gay-Lussac'sche Gesetz ausdrückt:

$$p_t V_t = p_0 V_0 (1 + \alpha t) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

Die Gleichung 3) geht in 1 oder 2 über, je nachdem man den Druck constant erhält, also $p_t = p_0$ setzt, oder das Volumen constant erhält, also $V_t = V_0$ setzt.

Setzt man t = Const., so ist $p_0 V_0 (1 + \alpha t)$ = Const., also $p_t V_t$ = Const., man erhält das Boyle'sche Gesetz.

α hat für alle Gase und Dämpfe, die hinlänglich weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt liegen, nahezu denselben Werth

$$0{,}003665 = {}^1/_{273}.$$

II. Apparat. An eine Glaskugel (Fig. 50) oder ein cylindrisches Glasgefäss n ist ein Capillarrohr a_1 angeschmolzen, das zweimal rechtwinklig umgebogen ist. Bei c ist an dasselbe ein seitliches Rohr g mit Hahn H angeschmolzen, mit welchem ein Chlorcalciumrohr verbunden werden kann; bei d ist es an ein weiteres Rohr b von circa 10 mm Weite angeschmolzen, dessen unteres Ende in einen Stahlhahn h eingekittet

ist. Unmittelbar unterhalb der Ansatzstelle bei d ist in dasselbe eine kleine schwarze Spitze σ (s. Fig. 51) eingeschmolzen. Der Hahn h hat die Gestalt Fig. 52; eine Durchbohrung q gestattet, die beiden Röhren p und r mit einander in Verbindung zu setzen, während durch die Durchbohrung a entweder p oder r mit der umgebenden Luft communiciren

Fig. 50.

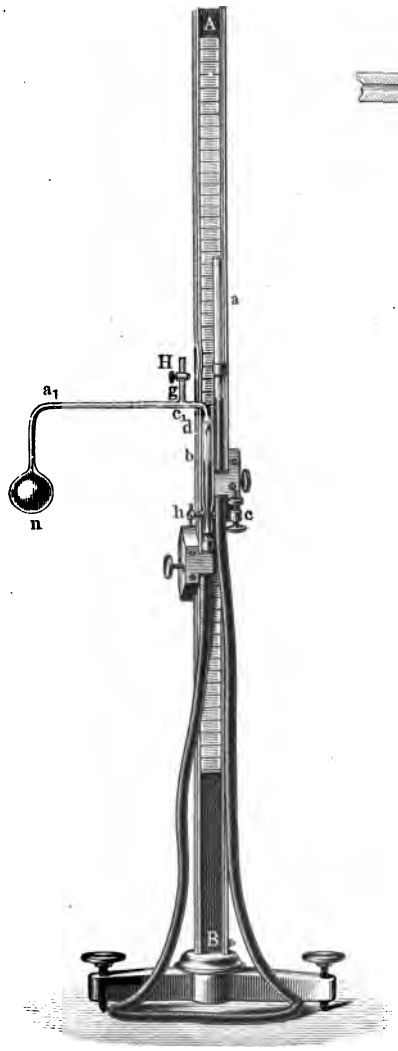


Fig. 51.

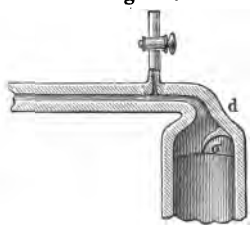
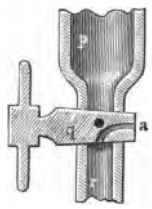


Fig. 52.



kann. Das den Hahn h tragende Stück wird mittelst einer Ueberfangsschraube an einem zweiten Stahlstück befestigt, an welches ein umsponnener Kautschukschlauch angebunden ist, der zu einem Glasrohr a führt, das mittelst eines Schlittens mit Mikrometerschraube c in einer Führung auf und nieder bewegt werden kann. Das Rohr b, der Kautschukschlauch und das Rohr a sind mit Quecksilber gefüllt. Das Ganze ist auf einem Stab AB befestigt, in den ein Glasstreifen mit Millimetertheilung eingelegt ist.

Das Gefäss n wird in ein Wasserbad gesetzt, und ein passend ausgeschnittener Pappschirm zwischen a_1 und den Stab AB gestellt, um die nicht im Wasserbade befindlichen Theile möglichst gegen Wärmestrahlung zu schützen.

Uebung 1. Füllen des Lufthermometers mit Luft von bestimmter Temperatur und bestimmtem Druck.

1) Man trocknet zunächst die Kugel n des Lufthermometers nebst den anstossenden Theilen. Dazu verbindet man g, während der Hahn h die in Fig. 52 angegebene Lage hat, mit einem Dreiweghahn; die eine der drei Ansatzröhren desselben führt zu einer Luftpumpe, die zweite zu

einem Trockenapparat, die dritte ist mit g verbunden. Man taucht n in siedendes Wasser, evacuirt abwechselnd und lässt Luft zu, wodurch alle Feuchtigkeit aus n entfernt wird [1]).

2) Man setzt das Gefäss n in Eis, Schnee oder in ein Wasserbad von bekannter niedriger Temperatur t, nimmt den Dreiweghahn fort, setzt an H das Chlorcalciumrohr an, hängt neben b ein Thermometer (Temperatur τ), dreht den Hahn h um 90°, so dass p und r (Fig. 52) mit einander communiciren, und stellt so lange an c, bis das Quecksilber in b genau bis an die schwarze Spitze reicht. Dies erkennt man daran, dass das Spiegelbild der Spitze im Quecksilber und diese selbst sich vollkommen berühren. Dann schliesst man den Hahn H.

3) Man liest entweder an der eingelegten Spiegelglasscala oder mit dem Kathetometer ab: a) die Differenz δ der Höhen der Quecksilberkuppen in den Röhren a und b; b) den Barometerstand b; c) die Temperatur t und τ.

Die Grösse δ ist durch den Unterschied in den Capillardepressionen in den Röhren b und a bestimmt, sie ist, je nachdem sie positiv oder negativ ist, der bei irgend einer Messung gefundenen Höhendifferenz in a und b zuzuaddiren oder von ihr abzuziehen.

Uebung 2. Vergleichung des Lufthermometers und Quecksilberthermometers.

1) Man taucht das Quecksilberthermometer in das Bad neben das Lufthermometer. Dabei sinkt oder steigt das Quecksilber in der Röhre a und steigt oder sinkt in b, je nachdem die Temperatur des Bades niedriger oder höher ist als die Temperatur, bei der der Hahn H geschlossen wurde.

2) Man schiebt den Schlitten in die Höhe, bis das Quecksilber in b genau die Spitze berührt, hält die Temperatur eine Zeit lang constant und zwar so lange, bis während etwa 5 bis 7 Minuten keine Verschiebung der Quecksilberkuppen mehr eintritt.

3) Man liest ab: a) die Temperaturen t_1 und τ_1 des Bades bezw. der Luft bei b; b) die Differenz der Quecksilberkuppen in a und b, sie sei q_1; c) den Barometerstand b_1.

Der Druck p_{t_1}, unter dem das Gas im Lufthermometer steht, ist:

$$p_{t_1} = q_1 + b_1 \pm \delta.$$

4) Man stellt denselben Versuch noch bei einer zweiten Temperatur, etwa der des siedenden Wassers, an.

III. a) Berechnung von Uebung 1. Zunächst werden alle durch Quecksilberhöhen von beliebiger aber bestimmter Temperatur τ gemessenen Drucke nach der Formel n auf S. 15 auf solche von 0° reducirt; die im Folgenden angegebenen Drucke sind schon reducirt.

Nach dem Schliessen des Hahnes H haben wir ein bestimmtes Luft-

[1]) Dies geschieht vor den Versuchen der Praktikanten durch den Assistenten.

volumen bei dem Barometerstande $b = p_1$ und der Temperatur t^0 in dem Gefäss n und bei der Temperatur τ in den anstossenden Theilen abgeschlossen.

Wir berechnen den Druck p_0, unter dem das Volumen stände, wenn das Ganze die Temperatur von 0^0 hätte, und setzen zunächst der Einfachheit wegen voraus, dass t^0 und τ einander gleich sind; dann ist die Gleichung:

$$p_0 v_0 (1 + \alpha t) = p_1 v_1$$

anzuwenden. Würde das Glas sein Volumen mit der Temperatur nicht ändern, so wäre $v_0 = v_1$ und

$$p_0 = \frac{p_1}{1 + \alpha t}.$$

Das Glas ändert aber in Folge der Temperaturerhöhung sein Volumen; ist β der cubische Ausdehnungscoëfficient desselben, so ist:

$$v_1 = v_0 (1 + \beta t)$$

und

$$p_0 v_0 (1 + \alpha t) = p_1 v_0 (1 + \beta t)$$

oder

$$p_0 = p_1 \frac{1 + \beta t}{1 + \alpha t}.$$

Den Einfluss einer Vernachlässigung von β auf den Werth von p_0 erhalten wir folgendermaassen. Es ist:

$$\alpha = 0{,}003665, \qquad \beta = 0{,}0000278.$$

Es sei $t = 20^0$, was schon sehr hoch ist, $p_1 = 760$ mm, dann ist ohne Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases:

$$p_0 = 708{,}10.$$

Mit Berücksichtigung derselben:

$$p_0' = 708{,}49.$$

Die Drucke unterscheiden sich also um 0,4 mm; da bei einem Drucke von 700 mm einer Druckdifferenz von 2,54 mm circa 1^0 entspricht, so würde die Temperatur bei Vernachlässigung dieser Correction um circa $0{,}15^0$ falsch werden.

Beispiel: $\delta = +2{,}7$ mm; $b = 739{,}3$; $t = 18{,}5$; $p_1 = 742{,}0$; $p_0 = 742{,}0 \frac{1{,}000514}{1{,}06780}$

$$= 695{,}2.$$

b) Berechnung von Uebung 2. Wir berechnen jetzt die am Luftthermometer gemessene Temperatur, welche der Temperatur t_1 des untersuchten Thermometers entspricht.

Der Druck, unter dem das Gas steht, ist:

$$p_{t_1} = q_1 + b_1 \pm \delta.$$

Vernachlässigt man die Ausdehnung des Glases und das Volumen der Luft in der Röhre a_1, das nicht erwärmt wird, sondern die Temperatur τ behält, so ist:

$$p_{t_1} = p_0 (1 + \alpha t_1);$$
$$t_1 = \frac{p_{t_1} - p_0}{p_0 \alpha}.$$

Berücksichtigen wir die Ausdehnung des Glases, so ist wie oben:

$$p_0 v_0 (1 + \alpha t_1) = p_{t_1} v_0 (1 + \beta t_1)$$

und

$$t_1 = \frac{p_{t_1} - p_0}{p_0 \alpha - p_{t_1} \beta}.$$

Ist φ das Volumen der nicht erwärmten Theile, V das der erwärmten, τ die Temperatur der ersteren, so trägt man φ durch die folgende Gleichung Rechnung, in der die Hülfsgrösse ε steht für:

$$\frac{1 + \beta \tau}{1 + \alpha \tau} = \varepsilon,$$

$$t_1 = \frac{(p_{t_1} - p_0)(1 + \varepsilon \varphi / V)}{\alpha \{p_0 - (p_{t_1} - p_0) \varepsilon \varphi / V\} - p_{t_1} \beta}.$$

Das Verhältniss von φ zu V wird vor der Zusammensetzung des Apparates durch Auswägen mit Quecksilber ermittelt; wir setzen es hier als bereits bestimmt voraus.

Beispiel: $q_1 = 204$, $b_1 = 736$, $\delta = +2$, $p_{t_1} = 942$ mm. Ohne Rücksicht auf das Volumen der nicht erwärmten Theile: $p_{t_1} - p_0 = 246{,}8$, $t_1 = 97{,}8^0$. Mit Rücksicht auf das Volumen der nicht erwärmten Theile: $\varphi / V = 1/288$, $\tau = 17{,}0^0$, $\varepsilon = 0{,}9418$, $t_1 = 98{,}3^0$. Das gleichzeitig ins Wasserbad eintauchende Thermometer zeigte $98{,}5^0$, also um $0{,}2^0$ zu hoch.

Allgemeines.

1. Auf die durch das Lufthermometer in der eben erwähnten Weise bestimmten Temperaturen sind die Angaben aller anderen Thermometer zu beziehen. Dazu genügt es, ein Thermometer mit dem Lufthermometer zu vergleichen, sich ein sogenanntes Normalthermometer herzustellen und dann mit diesem die zur Verwendung kommenden zu aichen (vgl. weiter unten S. 49).

2. Nach der kinetischen Gastheorie bestehen die Gase aus einzelnen Molecülen, die sich nach allen Richtungen durch einander bewegen, und deren Dimensionen klein gegenüber ihren gegenseitigen Abständen sind. Der Druck p auf die Wände eines Gefässes vom Volumen v, in dem eine bestimmte Masse eines Gases von der Temperatur t enthalten ist, wird durch die Stösse hervorgerufen, welche die Molecüle bei ihrem Auftreffen auf die Einheit der Wandfläche ausüben. Er hängt ab: 1) von der Zahl der Stösse, d. h. der in der Zeiteinheit auftreffenden Molecüle; 2) von der Masse der stossenden Molecüle und 3) von der Geschwindigkeit U derselben. Letztere hängt selbst von der Temperatur ab. Wird beim Abkühlen eines Gases die Geschwindigkeit gleich Null,

so wird auch der Druck Null; wir sind bei der absoluten Nulltemperatur angelangt. Aus der kinetischen Gastheorie leitet sich, wenn wir das Volumen der Gasmolecüle als verschwindend klein annehmen und voraussetzen, dass dieselben auf einander keine Kräfte ausüben, das Boyle-Gay-Lussac'sche Gesetz ab, und zwar ist, wenn C eine von der Wahl der Einheiten für Druck und Volumen abhängige Constante ist:

$$p_0 v_0 (1 + \alpha t) = \frac{1}{2} \cdot C U^2,$$

und damit ist auch der Druck auf die Wände Null, wenn

$$1 + \alpha t = 0, \quad t = -\frac{1}{\alpha} = -273^0,$$

ist. Die absolute Nulltemperatur liegt also bei -273^0 C. Die vom absoluten Nullpunkt aus gerechnete Temperatur T heisst die absolute Temperatur; messen wir die Temperaturen in Celsiusgraden t, so ist $T = t + 273^0$.

VI. Dichte der Dämpfe und Gase.

Einleitung.

Definition. Die Dichte eines Gases oder Dampfes wird, wenn sie zu Moleculargewichtsbestimmungen benutzt wird, definirt als das in der Volumeneinheit bei 0^0 und 760 mm Druck enthaltene Gewicht des Gases oder Dampfes, verglichen mit dem bei 0^0 und 760 mm Druck in demselben Volumen enthaltenen Gewichte eines bestimmten Gases, z. B. trockener atmosphärischer Luft oder Wasserstoffs [1]).

Bei festen und flüssigen Körpern ist die Dichte in Folge des kleinen Ausdehnungscoëfficienten nur in geringem Grade von der Temperatur abhängig und, da die Compressibilität dieser Körper verschwindend klein ist, so gut wie gar nicht von dem äusseren Druck.

Bei den Gasen und Dämpfen ändert sich dagegen das Volumen in hohem Grade sowohl mit dem Druck wie mit der Temperatur.

Wir betrachten im Folgenden die Dämpfe nur in solchen Zuständen, in denen sie hinreichend weit vom Sättigungspunkte entfernt sind, in denen sie sich also den Gasen analog verhalten (vergl. weiter unten unter „Unterschied von Gasen und Dämpfen").

Ein Volumen V_{pt} eines Gases stehe unter dem Druck p, habe die Temperatur t und das Gewicht G. Wird der Druck auf 760 mm, die Temperatur auf 0^0 gebracht, so ändert sich das Volumen in:

$$V_{760,0} = V_{pt} \frac{p}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t}.$$

Das Volumen Eins (1 cbcm) hat also bei 760 mm Druck und der Temperatur 0^0 das Gewicht:

$$\gamma = \frac{G}{V_{760,0}} = \frac{G}{V_{pt}} \cdot \frac{760}{p} \cdot (1 + \alpha t).$$

---

[1]) Diejenigen Praktikanten, welche noch nicht mit dem Volumenometer und dem Lufthermometer gearbeitet haben, müssen vor der Bestimmung der Dampfdichte die Einleitungen zu diesen Capiteln durchlesen, da die dort entwickelten Formeln im Folgenden zu den Reductionen gebraucht werden.

Ein Volumen (1 cbcm) von Luft hat unter denselben Bedingungen das Gewicht $\lambda = 0{,}00129\,g$, also ist das spec. Gewicht des Gases bez. seine Dichte gegen die der Luft unter gleichen Bedingungen:

$$D_{760,0} = \frac{\gamma}{\lambda} = \frac{G}{0{,}00129}\,\frac{1}{V_{pt}}\,\frac{760}{p}\,(1 + \alpha t).$$

Bei gleichem Druck und gleicher Temperatur enthalten gleiche Volumina der verschiedensten Gase gleich viel Molecüle.

Den weiteren Entwicklungen legen wir das Avogadro'sche Gesetz zu Grunde. Oder: Die Gewichte gleicher Volumina verhalten sich bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur wie die Moleculargewichte. Hierbei ist die Richtigkeit des Boyle-Gay-Lussac'schen Gesetzes vorausgesetzt.

Nehmen wir als Volumen die Volumeneinheit (1 cbcm), so ist das Gewicht derselben das specifische Gewicht oder die Dichte, und wir können sagen:

Die Dichten zweier Gase verhalten sich bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur wie die Moleculargewichte.

Sind m_1 und m_2 die in Grammen ausgedrückten Gewichte der Molecüle zweier Stoffe 1 und 2, n die für beide Gase gleiche Anzahl derselben in der Volumeneinheit, so sind die Gewichte der Volumeneinheit, d. h. die Dichten d_1 und d_2:

$$d_1 = n\,m_1 \qquad d_2 = n\,m_2$$

also in der That:

$$d_1/d_2 = m_1/m_2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 7)$$

Durch eine Bestimmung des Verhältnisses der Dichten zweier Gase erhalten wir also das Verhältniss ihrer Moleculargewichte.

Im Folgenden nehmen wir stets an, dass die Dichten bezogen sind auf 0^0 und 760 mm Druck.

Setzen wir, wie es in der Chemie geschieht, das Moleculargewicht des Wasserstoffs $m_2 = 2$, dessen Dichte gleich d_2, so erhalten wir:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{m_1}{2},$$

und hieraus für das Moleculargewicht m_1 irgend eines Gases, bezogen auf dasjenige des Wasserstoffes gleich 2:

$$m_1 = 2\,\frac{d_1}{d_2}.$$

Die Dichte des Wasserstoffs, bezogen auf Luft, ist $d_2 = \frac{1}{14{,}45}$, also ist das Moleculargewicht eines Körpers von der auf Luft bezogenen Dichte d_1:

$$m_1 = 2\,.\,14{,}45\,d_1 = 28{,}9\,d_1.$$

Einem in Grammen gemessenen Moleculargewicht entsprechen bei 0^0 und 760 mm Druck 22,312 Liter.

Allgemeines über die Methoden. Bei der Bestimmung der Dichte der Dämpfe müssen Methoden eingeschlagen werden, die von den bei den festen und flüssigen Körpern benutzten abweichen. Dabei sind, wenn man die normale Dampfdichte, wie sie zur Bestimmung des Moleculargewichts gebraucht wird, erhalten will, gewisse Vorsichtsmaassregeln zu beachten. Der Dampf muss weit von seinem Sättigungspunkte (s. Hygrometrie) entfernt sein, d. h. er muss, wenn die Dampfdichte beim Barometerstande ermittelt werden soll, über den Siedepunkt erhitzt oder unter niedrigeren Druck gebracht werden. Dies ist deshalb nöthig, weil aus der Bestimmung der Dichte bei dem gerade vorhandenen Druck und der Temperatur nach dem Boyle-Gay-Lussac'schen Gesetz die Dichte bei 0^0 und 760 mm berechnet wird, und dieses Gesetz mit grösserer Annäherung für die Dämpfe nur dann gilt, wenn die Dämpfe hinreichend weit von ihren Sättigungspunkten entfernt sind. Nach Regnault müssen Temperatur und Druck so gewählt werden, dass letzterer höchstens 0,8 von demjenigen beträgt, der bei der Versuchstemperatur eine Condensation hervorrufen würde. Die Dampfdichten ergeben sich um so grösser, je niedriger die Temperatur und je höher der Druck bei der Messung ist.

Für chemische Zwecke, besonders wenn die Dampfdichtebestimmung nur zur Feststellung des Moleculargewichts dienen soll, benutzt man folgende Methoden. Dieselben zerfallen in drei Gruppen:

1. Die Methoden, bei denen das Gewicht eines bestimmten Dampfvolumens bestimmt wird; hierher gehört die von Dumas angegebene Methode.

2. Die Methoden, bei denen das Volumen des Dampfes direct ermittelt wird, den ein bestimmtes Gewicht Flüssigkeit entwickelt; Methoden von Gay-Lussac und A. W. Hofmann.

3. Die Verdrängungsmethode, bei der das Volumen von Quecksilber oder einer leicht schmelzbaren Metalllegirung, oder aber das Luft-, Stickstoff- oder Wasserstoffvolumen bestimmt wird, welches der aus einer abgewogenen Flüssigkeitsmenge entwickelte Dampf verdrängt; Methode von Victor Meyer.

Von anderen Methoden, die sich auf verschiedene mit der Dichte zusammenhängende Eigenschaften der Gase gründen, werden wir nur eine von Bunsen angegebene behandeln.

1. Bestimmung der Dichte eines permanenten Gases.

Gebraucht wird: Glasballon von etwa $\frac{1}{2}$ Liter Inhalt mit zwei Glashähnen; Luftpumpe; Kipp'sche Apparate zur Entwickelung von Kohlensäure und Wasserstoff; Waschflaschen mit Wasser, concentrirter Schwefelsäure und einer Lösung von übermangansaurem Kali; ein Wasserbad; feine Waage mit Gewichten.

I. Princip. Die relativen Dichten der Gase werden dadurch bestimmt, dass man gleiche Volumina derselben wägt. Bestimmt man die Gewichte P_1, P_2, P_3... gleicher Volumina verschiedener Gase bei derselben Temperatur und demselben Drucke, so verhalten sich die Dichten d_1, d_2, d_3.... wie die gefundenen Gewichte. Ist das erste Gas Luft, so sind die auf Luft bezogenen Dichten:

$$\Delta_2 = \frac{P_2}{P_1}, \quad \Delta_3 = \frac{P_3}{P_1} \cdot \ldots$$

also sind die auf Wasserstoff bezogenen Dichten:

$$\delta_2 = 14{,}45\,\frac{P_2}{P_1}, \quad \delta_3 = 14{,}45\,\frac{P_3}{P_1} \cdot \ldots$$

und die Moleculargewichte der Gase nach dem Avogadro'schen Gesetze

$$m_2 = 28{,}9\,\frac{P_2}{P_1}, \quad m_3 = 28{,}9\,\frac{P_3}{P_1} \cdot \ldots$$

Die Moleculargewichte zweier Gase verhalten sich also wie die Gewichte gleicher Volumina:

$$m_2 : m_3 = P_2 : P_3.$$

II. Apparat. Die Gase werden in einem Glasballon von ca. $^1/_2$ Liter Inhalt aus nicht gar zu dünnem Glase gewogen, an den oben und unten Glasröhren angeschmolzen sind. Die untere ist um den Ballon herum nach oben gebogen. Etwa 4 cm oberhalb des Ballons tragen beide Röhren gut schliessende Glashähne. Beim Füllen wird das Gas von oben oder unten in den Ballon eingeleitet, je nachdem es leichter oder schwerer als Luft ist, wobei der Ballon bis an die Hähne in ein Wasserbad von constanter Temperatur getaucht wird.

III. **Uebung.** 1) Man trocknet den Ballon vollständig, indem man durch ihn nach Ausspülen mit Alkohol und Aether einen Strom getrockneter Luft hindurchsaugt, wobei man den Ballon selbst gelinde erwärmt.

2) Man taucht den Ballon längere Zeit in das Wasserbad, während man langsam trockene Luft hindurchleitet, schliesst die Hähne, trocknet ihn ab, hängt ihn an einem dünnen Drahte an einer empfindlichen Waage auf und bestimmt sein Gewicht P_1'.

3) Man evacuirt vollständig den Ballon und bestimmt sein Gewicht P.

4) Man leitet durch den Ballon trockene Kohlensäure und wägt wieder; Gewicht P_2'.

5) Dasselbe führt man mit Wasserstoff aus; Gewicht P_3'.

Dann sind $P_1 = P_1' - P$, $P_2 = P_2' - P$, $P_3 = P_3' - P$ die Gewichte gleicher Volumina von Luft, Kohlensäure und Wasserstoff.

Beispiel: $P_1' = 71{,}247$; $P = 70{,}604$; $P_2' = 71{,}588$; $P_3' = 70{,}649$; $P_1 = 0{,}643$; $P_2 = 0{,}984$; $P_3 = 0{,}045$; $\Delta_2 = 1{,}531$; $\Delta_3 = 1/14{,}3$; $m_2 = 44$; $m_3 = 2$. In der That ist $P_2 : P_3 = 22 : 1$.

2. Methode von Dumas.

Gebraucht werden: Mehrere Glasballons von circa $^1/_8$ Liter Gehalt, mit angeblasener weiter Glasröhre, Fig. 53, *A*; Drahtdreifuss Fig. 54; Fläschchen mit völlig alkohol- und wasserfreiem (über Natrium stehendem) Aethyläther, Methyl-, Aethylacetat; Stativ Fig. 54 mit Thermometer, Rührer, grösserer Topf, Dreifuss und Brenner; Löthrohr mit Gaszufluss; Gefäss mit ausgekochtem Wasser; feinere und gröbere Waage mit entsprechenden Gewichtssätzen.

Uebung. 1) Man trocknet einen Glasballon *A*, Fig. 54, von circa $^1/_8$ Liter Inhalt, an den eine Glasröhre *bd* angesetzt ist, und lässt sie gegen das Ende hin, etwa bei *c*, durch vorsichtiges Erwärmen vor der Gebläselampe etwas zusammenfallen.

Fig. 53.

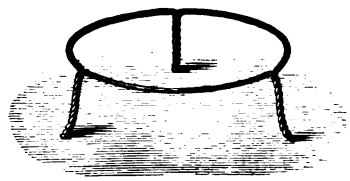
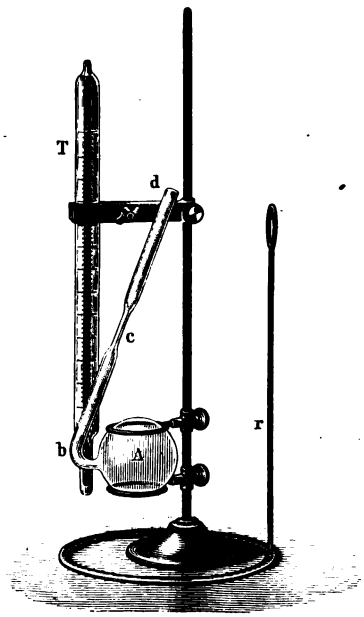


Fig. 54.



2) Man wägt den Ballon auf einer feinen Waage, sein Gewicht sei *P*.

Dabei stellt man den Ballon auf einen kleinen Drahtdreifuss (Fig. 53).

3) Man bringt in den Ballon einige Gramm der Flüssigkeit, deren Dampfdichte bestimmt werden soll, etwa Aether, indem man den Ballon etwas erwärmt und dann die Stelle *d* unter die Flüssigkeit taucht. Beim Abkühlen wird die Flüssigkeit in den Ballon hineingezogen.

4) Man befestigt den Ballon zugleich mit einem Thermometer *T* an einem Stativ (Fig. 54) und setzt ihn zusammen mit dem Rührer *r* in einen eisernen Topf, der mit so viel Wasser gefüllt ist, dass gerade die Stelle *c* sich oberhalb des Wasserniveaus befindet. — Für höher siedende Substanzen muss man zum Erhitzen andere Substanzen (wie Oel etc.) anwenden.

5) Das Bad erhitzt man auf eine Temperatur, die etwa 10^0 höher liegt, als der Siedepunkt der Substanz in *A* bei dem herrschenden Drucke, also bei Aether auf etwa 45^0. Nachdem die ganze Substanz verdampft ist, schmilzt man mit der Stichflamme [1])

[1]) Man kann den Ballon auch von vornherein bei *c* zu einer feinen Spitze ausziehen und dieselbe nachher zuschmelzen. Zum Abschmelzen bei *c* dient am besten ein Löthrohr mit Gaszufuhr.

bei c zu und zieht das Stück cd ab, hierauf liest man die Temperatur t des Bades und den Barometerstand b ab.

Ob die ganze Substanz verdampft ist, erkennt man am besten, wenn man oberhalb des Wasserbades eine Glasflamme anbrennt und beobachtet, ob das in dem Flüssigkeitstropfen an dem Boden des Ballons sichtbare kleine Flammenbild verschwunden ist.

6) Hierauf trocknet man den abgekühlten Ballon ab und wägt ihn zusammen mit der Spitze cd auf einer feinen Waage, wobei von Neuem der Barometerstand b' und die Temperatur t' im Waagekasten bestimmt wird. Das Gewicht sei jetzt P'.

Endlich feilt man die Spitze des Ballons unter ausgekochtem, luftfreiem, kaltem Wasser an, bricht sie ab und lässt das Wasser in den Ballon strömen; bleibt dabei etwas Luft im Ballon, so senkt man ihn so weit in das Wasser ein, bis das Niveau innerhalb und ausserhalb dasselbe ist, und zieht ihn aus dem Wasser, indem man die Oeffnung mit dem Finger zuhält. Dabei dreht man ihn so, dass letztere nach oben steht.

7) Der gefüllte Ballon nebst der abgebrochenen Spitze wird wieder gewogen und zwar auf einer gröberen Waage. Das Gewicht sei P''.

8) Ist nicht alle Luft durch den Dampf ausgetrieben, so wird der nur theilweise mit Wasser gefüllte Ballon gewogen. Darauf füllt man ihn vollkommen mit Wasser und bestimmt von Neuem sein Gewicht; eine hiervon herrührende Correction vernachlässigen wir zunächst. Man stellt die Messungen mit den oben angeführten Flüssigkeiten an.

Berechnung: Um aus diesen Daten die Dichte des Dampfes zu erhalten, müssen wir das Volumen des Ballons, sowie das Gewicht des in demselben enthaltenen Dampfes bei 0^0 und 760 mm ermitteln.

Wir wollen dabei zunächst die Ausdehnung des Glases und des Wassers bei der Temperaturerhöhung vernachlässigen und annehmen, dass der Barometerstand b sich während des Versuches nicht geändert, und der Ballon sich ganz mit Wasser gefüllt habe.

Das Gewicht P des leeren Ballons ist gleich dem Gewicht der Glashülle des Ballons B plus dem Gewicht der darin enthaltenen Luft l weniger dem Gewicht der vom Ballon mit der Luft darin verdrängten äusseren Luft λ; da die Glashülle sehr dünn ist, so ist $l = \lambda$ und P giebt das Gewicht der Glashülle selbst. Das Gewicht P'' ist das Gewicht des mit Wasser gefüllten Ballons weniger dem Gewicht der vom Ballon und Wasser verdrängten Luft. Da die Dichte der Luft nur ca. $^1/_{773}$ derjenigen des Wassers ist, so erfährt der Ballon mit dem Wasser nur einen Gewichtsverlust von $^1/_{773}$ seines eigenen Gewichtes. Wir vernachlässigen diesen Gewichtsverlust, dann ist P'' das Gewicht des mit Wasser gefüllten Ballons. Das Volumen des Ballons ist, wenn P und P'' in Grammen ausgedrückt sind:

$$V = (P'' - P) \text{ cbcm.}$$

Das Gewicht P' ist gleich dem Gewicht des leeren Ballons P plus dem Gewicht des darin enthaltenen Dampfes Π weniger dem Gewicht der verdrängten Luft P_1, es ist:

$$P' = P + \Pi - P_1, \text{ oder: } \Pi = P' - P + P_1.$$

Da das Gewicht der verdrängten Luft von derselben Grössenordnung wie das Gewicht des Dampfes selbst ist, so können wir das erstere hier nicht vernachlässigen, sondern müssen es in Rechnung ziehen.

1 cbcm Luft wiegt bei 0^0 und 760 mm rund 0,00129 g, also wiegt er bei t'^0 und b' mm Druck, die während der zweiten Wägung herrschten:

$$P'_1 = \frac{0{,}00129}{1 + 0{,}00366\,t'} \cdot \frac{b'}{760}.$$

Das Gewicht der von V Cubikcentimeter, d. h. unserem Ballon verdrängten Luft ist danach:

$$P'_1 V = P_1.$$

Die Dampfmenge Π ist in unserem Ballon enthalten bei der Temperatur des Zuschmelzens t und bei dem Drucke b; würde dasselbe Volumen V von Dampf bei 0^0 und 760 mm erfüllt sein, so würde sein Gewicht sein:

$$\Pi' = \Pi \frac{760}{b} (1 + 0{,}00366\,t).$$

In einem Cubikcentimeter würden enthalten sein:

$$\frac{\Pi'}{V}.$$

Da aber in einem Cubikcentimeter Luft von 0^0 und 760 mm Druck 0,00129 g enthalten sind, so ist die auf Luft bezogene Dichte:

$$\Delta = \frac{1}{0{,}00129} \frac{\Pi'}{V}.$$

Das Moleculargewicht ist dann:

$$M = 28{,}9\,\Delta.$$

Für genaue Bestimmungen müssen wir folgende Formel anwenden; wir wählen, um Verwechselungen vorzubeugen, andere Buchstaben.

Es sei m das Gewicht des mit Luft gefüllten Ballons, m' das Gewicht des mit Dampf gefüllten Ballons, M' das Gewicht des theilweise mit Wasser gefüllten Ballons, M das Gewicht des ganz mit Wasser gefüllten Ballons, t und b Temperatur des Dampfes und Barometerstand im Augenblick des Zuschmelzens, t' und b' Temperatur im Waagekasten und Barometerstand bei der Wägung mit Dampf (ist e die Spannkraft des Wasserdampfes im Waagezimmer, so ist $^3/_8\ e$ von b' abzuziehen), λ' die Dichte der Luft, wie sie t' und b' entspricht, Q die Dichte des zur Wägung angewandten Wassers, $3\,\beta$ der cubische Ausdehnungscoëfficient des Glases, der etwa $^1/_{40000}$ beträgt. Man erhält dann die Dichte d_0:

$$d_0 = \frac{(m' - m)\frac{Q}{\lambda'} + (M' - m')}{(M - m)\frac{b}{b'}\frac{1 + 0{,}00366\,t'}{1 + 0{,}00366\,t}[1 + 3\beta\,(t - t')] - (M - M')}.$$

In erster Annäherung können wir das Glied mit $3\beta\,(t - t')$ vernachlässigen. Eine genügende Annäherung giebt die folgende Formel:

$$d_0 = \left(\frac{m' - m}{M - m}\frac{1}{\lambda'} + 1\right)\frac{b'}{b}\frac{1 + 0{,}00366\,t}{1 + 0{,}00366\,t'}.$$

Beispiel: Aethyläther ($C_4H_{10}O$). Gefunden wurde: $P = 25{,}615$ g; $t = 47^0$; $b = 749$ mm (schon reducirt siehe S. 15). $P' = 25{,}8052$; $t' = 20^0$; $b' = 749$ mm. $P'' = 136$ g. Berechnung: $V = 110{,}4$ cbcm;

$$P_1' = \frac{0{,}00129}{1 + 0{,}00366\,.\,20}\frac{749}{760} = 0{,}001185; \qquad P_1 = 0{,}001185 \times 110{,}4 = 0{,}131\text{ g};$$

$$\Pi = 0{,}190 + 0{,}131 = 0{,}321\text{ g}; \qquad \Pi' = 0{,}321\,\frac{760}{749}\,(1 + 0{,}00366\,.\,47) = 0{,}382\text{ g}.$$

Im Cubikcentimeter würden enthalten sein: $\frac{0{,}382}{110{,}4} = 0{,}00346$ g. Die auf Luft bezogene Dichte ist $\Delta = 2{,}68$. Das Moleculargewicht bestimmt sich hieraus zu $M = 77$. In Wirklichkeit ist es gleich 74.

3. Methode von Victor Meyer.

Gebraucht wird: Der Apparat Fig. 57 mit Dampfmantel, graduirtem Messcylinder und Thermometer; Brenner mit Schlauch; Röhrchen mit Kappe und Messingfuss, Fig. 56; feine Waage mit Gewichtssatz; Flasche mit Chloroform (wasser- und alkoholfrei).

I. Princip. Ein mit Luft gefüllter Cylinder A (Fig. 55 a. f. S.) befindet sich in einem Raume B von constanter Temperatur T, und ist oben durch einen Kork verschlossen, durch den ein umgebogenes Glasrohr g zu einem Messcylinder M führt, dessen Temperatur t ist. Bringt man in A eine abgewogene Flüssigkeitsmenge G, deren Siedepunkt niedriger als T ist, so verdampft sie und verdrängt ein Volumen Luft von der Temperatur T, das dem Volumen des aus ihr entstehenden Dampfes gleich ist. Diese Luft wird in dem Messcylinder bei der Temperatur t aufgefangen; sie stehe unter dem Druck β, ihr Volumen sei V. Die Luft hat bei dem Wandern aus A nach M eine Volumverminderung entsprechend der Temperaturerniedrigung von T bis t erfahren. Eine gleiche Volumänderung würde aber auch der Dampf der Flüssigkeit erlitten haben, wenn er ohne Condensation auf die Temperatur t gebracht werden könnte, da die Ausdehnungscoëfficienten aller Gase und Dämpfe einander gleich sind. Dasselbe gilt auch für die Volumänderungen in Folge der Druckänderungen.

Man kann also direct sagen: nimmt das Gewicht G der Flüssigkeit im Dampfzustande bei t^0 und unter dem Druck β ein Volumen V ein, so würde es bei der Temperatur 0^0 und dem Druck 760 mm ein Volumen

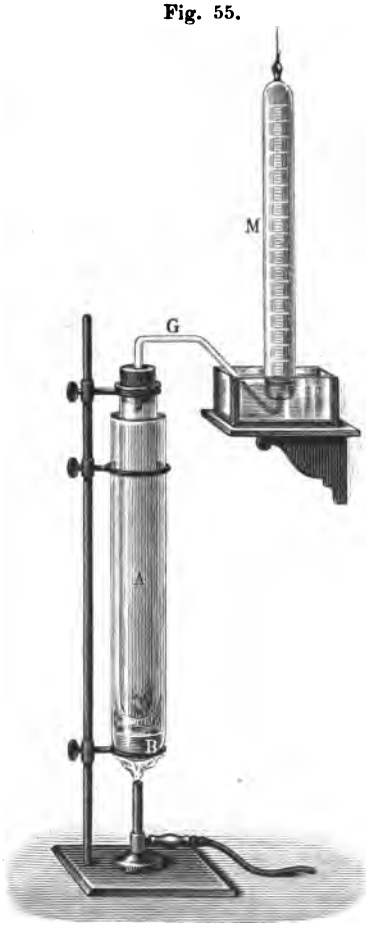
$$V_1 = \frac{V}{1 + \alpha t} \cdot \frac{\beta}{760}$$

einnehmen.

Das Gewicht eines Cubikcentimeters ist also:

$$\Pi = G / V_1.$$

Fig. 55.



Die auf Luft bezogene Dichte ist demnach:

$$\Delta = \Pi / 0{,}00129,$$

also das Moleculargewicht:

$$M = 28{,}9\,\Delta.$$

II. Apparat: Ein Glascylinder C (Fig. 57) ist in einen eisernen, oben mit einer Rinne versehenen Tiegel T, der mit einer Heizflüssigkeit, Wasser etc., gefüllt wird, mit Gyps eingekittet. Ein Ring r trägt den Tiegel und ein Ring r_1 hält den Glascylinder in verticaler Richtung.

In diesem Cylinder hängt von oben, gehalten von einem in der Mitte durchgeschnittenen, mit einem Abzugsrohr für die Dämpfe versehenen Kork, der folgende Apparat (Fig. 56 und 57).

An ein cylindrisches Glasgefäss A von circa 100 cbcm Inhalt und etwa 200 mm Höhe wird ein etwa 600 mm langes und 6 mm weites Glasrohr b angeschmolzen, das oben in einer Erweiterung d endigt und durch einen Kautschukpfropfen k verschlossen ist. Etwa in der Höhe von 500 mm ist seitlich ein enges, nach unten umgebogenes Rohr a angesetzt, dessen Ende in ein mit Wasser gefülltes Gefäss w unter einem Messcylinder m mündet; das Rohr a hat manchmal oberhalb des Wasserspiegels eine Erweiterung, um bei einer etwaigen Abkühlung von A ein Eindringen von Wasser in A zu verhindern. Gegenüber dem Rohr a ist ein engeres Rohr e angesetzt, in dem sich, durch einen Kautschukschlauch luftdicht festgehalten, der Kupferstab g [1]) hin und her bewegt.

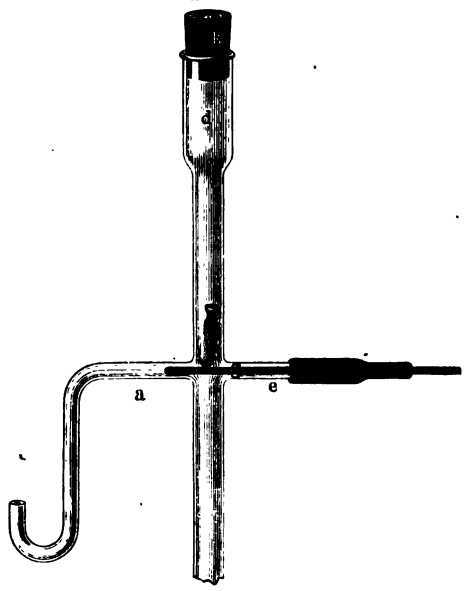
[1]) Glasstäbe brechen zu leicht ab.

Die Substanz wird in einem kleinen, unten zugeschmolzenen cylindrischen Röhrchen abgewogen, welches in einem kleinen Messingfusse, wie ihn die Fig. 59 zeigt, auf die Waage gestellt wird. Damit so wenig wie möglich von der Flüssigkeit während der Wägung durch Verdunsten verloren geht, wird auf diesem Eimerchen mittelst eines kurzen Stückes Gummischlauches ein zugeschmolzenes Röhrchen gesteckt.

Für sehr flüchtige Substanzen nimmt man Sprengkügelchen *k* (Fig. 57 *a*) von sehr dünnem Glase, die man zur Füllung in ein Glasrohr mit Kork einsetzt, welches mit der Flüssigkeit *f* gefüllt ist; durch Erwärmen treibt man die Luft aus *k*; beim Abkühlen wird Flüssigkeit eingesogen. Wenn das Kügelchen gefüllt ist, schmilzt man bei *h* ab.

Uebung. 1) Man trocknet das Rohr *A*, indem man es mit Alkohol und Aether ausspült und nach Abnehmen des Stopfens *k* und des Gummischlauches *e* ein langes Messingrohr bis in das Ende von *A* einführt, welches mit der Saugpumpe in Verbindung gebracht wird. Indem man das Glasrohr vorsichtig erwärmt, zieht man das Messingrohr allmählich aus demselben wieder heraus. Hierauf schiebt man einen Bausch trockener Glas- oder Asbestwolle durch das Glasrohr *b* nach *A*.

Fig. 56.



2) a) Man wiegt die Eimerchen resp. Sprengkügelchen leer, Gewicht *P*, und b) mit der Flüssigkeit, Gewicht *P'*, von der man so viel nimmt, dass etwa 50 cbcm Dampf aus ihnen bei der Temperatur *T* entstehen (bei Chloroform etwa 0,18 *g* für $T = 100^0$).

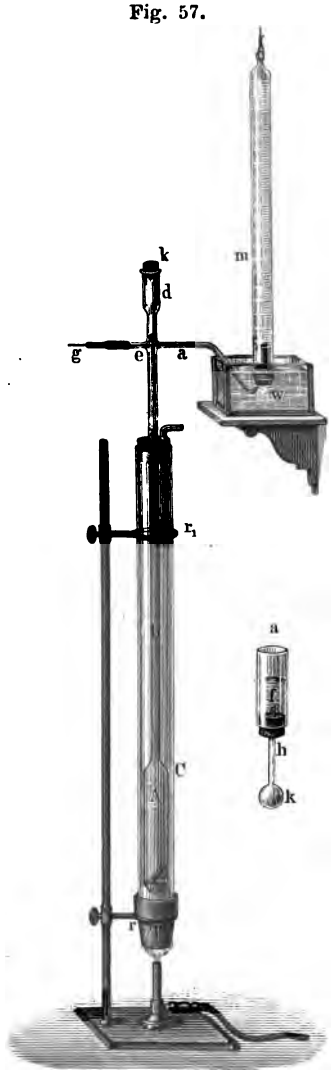
3) Man erhitzt die Flüssigkeit in *T*, bis der ganze Apparat auf eine constante, freilich von Ort zu Ort variirende Temperatur gekommen ist; man erkennt dies daran, dass keine Luftblasen mehr aus *a* entweichen.

4) Man öffnet den Kautschukstöpsel *k* und lässt das Eimerchen, nachdem man die Gummikappe abgezogen, resp. das Sprengkügelchen mit der Substanz vorsichtig in das Rohr gleiten; es bleibt auf dem Kupferstabe hängen. Man setzt den Kautschukstöpsel wieder (fest) auf.

5) Man schiebt den mit Wasser gefüllten Messcylinder *m* über die Röhre.

6) Man zieht den Kupferstab zurück und lässt das Eimerchen resp. Kügelchen nach unten fallen. Die in ihm enthaltene Flüssigkeit verdampft und aus a steigen Luftblasen in die Höhe.

Fig. 57.



7) Man wartet so lange, bis keine Blasen mehr in dem Messcylinder emporsteigen und liest ab:

den Barometerstand b,

die Höhe H der Wassersäule in dem getheilten Cylinder,

die Temperatur t des Wassers in der Wanne,

das Volumen V' in dem Messcylinder.

Dann erhält man nach der oben abgeleiteten Formel die Dampfdichte.

Berechnung. In der obigen Gleichung sind durch die Messungen direct gegeben das Gewicht $G = P' - P$, die Temperatur t, das Volumen V'.

Das Volumen V' enthält nicht nur die aus dem Erhitzungsapparat durch den Dampf verdrängte Luft, sondern auch noch den aus dem Wasser, über dem man die Luft auffängt, sich bildenden Wasserdampf von einer der Temperatur t entsprechenden Spannkraft e (vergl. Hygrometrie). In einem Gemisch zweier Gase, das unter dem Drucke Π das Volumen V' erfüllt, übt jede der beiden Componenten genau denselben Druck P und p aus, als ob sie allein den Raum V' erfüllte, wobei $P + p = \Pi$ ist. Unter dem Drucke Π würden die beiden Componenten also für sich genommen Volumina ausfüllen:

$$V = V' \frac{\Pi - p}{\Pi} \qquad v = V' \frac{p}{\Pi}.$$

In dem Gemisch von Luft und Wasserdampf, dessen Spannkraft bei der Temperatur t des Wassers gleich e ist, ist also ein Volumen

$$V = V' \frac{\Pi - e}{\Pi}$$

Luft enthalten.

Π ist gleich dem Barometerstand b, vermindert um den in Quecksilberdruck h umgerechneten Druck der Wassersäule $H\left(h = \frac{H}{13{,}6}\right)$, also $\Pi = b - h$. Man erhält bei Berücksichtigung des vorhandenen Wasserdampfes und der Reduction auf 760 mm für die verdrängte Luft ein Volumen

$$V_{t\,760} = V' \cdot \frac{b-h-e}{b-h} \cdot \frac{b-h}{760} = V' \frac{b-h-e}{760}.$$

Wir können also dem vorhandenen Wasserdampfe auch dadurch Rechnung tragen, dass wir sagen, das Volumen V' steht unter dem gemessenen Druck, vermindert um die Spannkraft des Wasserdampfes bei der Temperatur t, die Reduction auf 0^0 ergiebt:

$$V_{760,0} = \frac{V'}{1+\alpha t} \cdot \frac{b-h-e}{760}.$$

Beispiel: Chloroform ($CHCl_3 = 120$); $G = 0{,}154$ g; $V = 32{,}6$ cbcm; $H = 267$ mm; $t = 18{,}5^0$; $b = 746$ mm; $e = 16$ mm; $b - h - e = 710$ mm; $V_{760,0} = 28{,}5$; $G/V = 0{,}0054$; $\Delta = 4{,}15$; $M = 120$.

4. Methode von Gay-Lussac, verbessert von A. W. Hofmann.

Gebraucht wird: Barometerrohr mit Dampfmantel, Fig. 58; längeres Rohr zum Luftaussaugen beim Trocknen; Quecksilber, Porcellanschälchen und Waage zum Calibriren; Quecksilberwanne im Quecksilberkasten; Fläschchen mit Glasstopfen; Messingfuss (Fig. 59); Flasche mit Chloroform (über Chlorcalcium); feinere Waage; Dampfkessel K (Fig. 58) auf Stativ; Kühlschlange; Kathetometer M (Fig. 58).

Die Dumas'sche Methode hat den Nachtheil, dass sie bei allen denjenigen Substanzen nicht anwendbar ist, welche sich beim Erhitzen schon unterhalb ihres Siedepunktes bei Atmosphärendruck zersetzen. Viele Körper lassen sich aber bei geringerem Druck bei niederen Temperaturen unzersetzt verflüchtigen. Dies Verhalten findet bei der vorliegenden Methode Anwendung.

I. Princip. Man lässt eine abgewogene Menge Flüssigkeit G in das Torricelli'sche Vacuum eines Barometerrohres steigen, das durch einen Dampfmantel auf eine constante Temperatur t erhitzt ist. Die Flüssigkeit verdampft und nimmt als Dampf ein Volumen von V cbcm ein; der Dampf steht unter dem Druck des Barometerstandes b weniger dem auf 0^0 reducirten Druck h der Quecksilbersäule in dem Barometerrohre, man berechnet den reducirten Druck aus dem gefundenen, indem man der Ausdehnung des Quecksilbers in Folge der Temperatur (S. 15) Rechnung trägt. Das Volumen würde also bei 0^0 und 760 mm sein:

$$V_{760,0} = V \frac{(b-h)}{760} \frac{1}{(1+\alpha t)} \text{ cbcm.}$$

Bei 0° und 760 mm würde also ein Cubikcentimeter wiegen:

$$\frac{G}{V_{760,0}} g;$$

die auf Luft bezogene Dichte ist demnach:

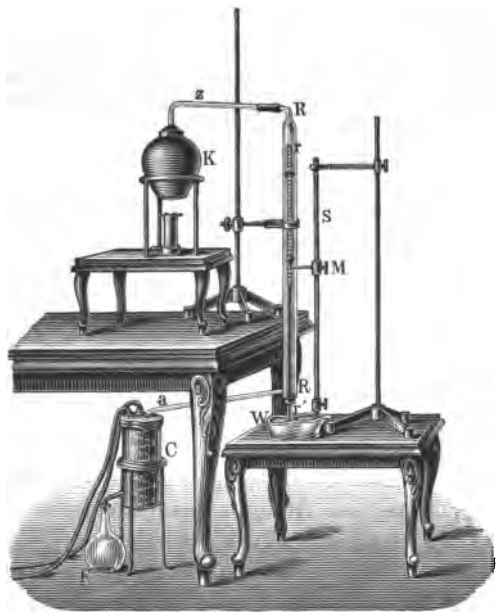
$$\Delta = \frac{G}{0{,}00129\ V_{760,0}},$$

also ist das Moleculargewicht:

$$M = 28{,}9 \,.\, \Delta.$$

II. Apparat (Fig. 58). Ein, sei es durchweg gleich weites, sei es oben erweitertes, über 760 mm langes, mit Quecksilber gefülltes Rohr rr' taucht mit seinem unteren Ende r' in Quecksilber in einer Wanne W. Dasselbe ist von einem weiten Glasrohr RR umgeben, das unten durch einen Kork verschlossen ist, durch welchen das Rohr rr' hindurchgeht. An dem unteren Ende von RR ist noch ein seitliches Rohr a angesetzt, das zu einer Kühlvorrichtung C geht. Das obere Ende von RR ist durch einen Kautschukschlauch mit dem Rohr z verbunden, welches zu einem Kessel K führt. In diesem können Flüssigkeiten zum Sieden gebracht werden, deren Dämpfe dann z, RR, a und C durchströmen und in F gesammelt werden.

Fig. 58.



Zum Einbringen der Flüssigkeiten dienen kleine, mit Glasstopfen versehene längliche Fläschchen, Fig. 59, deren Durchmesser kleiner als die lichte Weite des Rohres rr' ist. Man wählt die Grösse der Fläschchen so, dass sie durch die Quantität, die man verwenden will, erfüllt werden [1]).

---

[1]) Das Volumen der Fläschchen ist auf Grund vorhergehender Ausmessungen des Volumens der Röhre rr' und Berechnungen so eingerichtet, dass, wenn man sie mit der bei dem Versuche vom Praktikanten benutzten Flüssigkeit, z. B. Chloroform, füllt, dann bei der gewählten Temperatur, z. B. der des

Zum Wägen der Fläschchen dienen kleine Füsschen aus Messingrohr (vergl. Fig. 59).

Zum Messen der Höhe der Quecksilbersäule in dem Rohr rr' dient die Vorrichtung S. Dieselbe besteht aus einer frei vertical herabhängenden Stange S mit einer schwalbenschwanzartigen Nuthe, in der eine mit einer Millimeterscala versehene zweite Stange auf- und abgeschraubt werden kann (durch die am unteren Ende in der Fig. 58 sichtbare Schraube). Diese innere Stange trägt unten eine Spitze, welche den Nullpunkt der Scala bezeichnet.

Fig. 59.

An der Stange S kann durch Drehen an der Schraube M ein Arm auf- und abbewegt werden, welcher eine Ablesevorrichtung trägt. Dieselbe besteht gewöhnlich aus einem einfachen Diopter, zwei Drähten, welche horizontal über zwei vertical stehende Ringe gespannt sind. Der obere Rand der Fassung von M misst dann die Höhe h der Quecksilbersäule auf der Scala.

III. **Uebung.** 1) Das Rohr rr' wird sorgfältig gereinigt und durch Ausspülen mit Alkohol und Aether und durch Aussaugen der Luft mittelst eines eingeschobenen, längeren, mit der Saugpumpe verbundenen Rohres und gleichzeitiges gelindes Erwärmen getrocknet.

2) Calibriren des Barometerrohres r'. Ist das Rohr rr', wie in der Fig. 58 angenommen, getheilt, so muss der Volumenwerth eines Scalentheiles α ermittelt werden, resp. wenn die Theilung schon die Cubikcentimeter anzeigt, diese Theilung controlirt werden.

Um ein graduirtes Rohr zu calibriren, schleift man den oberen Rand eines kurzen, starkwandigen, unten zugeschmolzenen Rohres eben ab und füllt dasselbe ganz mit Quecksilber. Die überstehende Kuppe drückt man durch eine aufgelegte Glasplatte fort und giesst das auf diese Weise abgeschlossene Quecksilbervolumen V in ein Becherglas, dessen Gewicht man bestimmt hat. Hierauf wägt man das Becherglas wieder um und erhält so nach S. 52 das Volumen V des Quecksilbers. In derselben Weise bringt man das Volumen V in die zu calibrirende Röhre, welche durch dasselbe bis zum Theilstrich c_1 gefüllt wird, man bringt dann immer wieder das Volumen V in die Röhre und findet so die Theilstriche c_1, c_2, c_3,..., welche demselben Zuwachse des Volumens entsprechen.

Hat das Rohr keine Theilung, so bezeichnet man, sowohl wenn es überall gleich weit ist, als auch, wenn es wie in Fig. 60 (a. f. S.) sich oben

---

Wasserdampfes, das Rohr rr' etwa bis an den Stopfen gefüllt wird. Dann braucht der Temperaturverschiedenheit der Quecksilbersäule über und unter dem Stopfen nicht Rechnung getragen zu werden. Trifft dies nicht genau zu, so wird nach S. 15 die Höhe der Quecksilbersäule corrigirt (vergl. weiter unten S. 102).

2840328

erweitert, was sich zur Aufnahme grösserer Dampfmengen bei Verbindungen mit niedrigem Moleculargewicht empfiehlt, ein gewisses Volumen durch einen Strich a auf dem cylindrischen unteren Theile, füllt das Rohr ganz mit Quecksilber, kehrt es in der Quecksilberwanne um und neigt es so weit, dass am oberen Ende ein Vacuum von einigen Cubikcentimetern bleibt. Dann schliesst man das Rohr fest mit dem Finger und lässt durch Neigen das Quecksilber einige Male in dem Rohre hin- und herfliessen. Alle kleineren, an den Wänden haftenden Luftblasen gehen in das Vacuum hinein. Darauf giesst man das Quecksilber bis zur Marke a ab und füllt die den oberen Theil ar des Rohres füllende Quecksilbermenge in ein abgewogenes Schälchen und bestimmt das Volumen nach S. 52 durch eine Wägung.

Fig. 60.

Auf diese Weise erhält man das Volumen V' des oberen durch die Erweiterung oder bei cylindrischen Röhren durch die Rundung der Kuppe uncalibrischen Theiles.

Dann begrenzt man durch einen zweiten Strich b ein Stück von bestimmter Länge ab mm auf dem Rohre, und ermittelt durch Auswägen das Volumen des Raumes br zu V'' cbcm.

$V'' - V'$ ist das Volumen von ab, und wenn das Rohr genau cylindrisch ist, das einer Länge von 1 mm in dem Rohre entsprechende Volumen v in Cubikcentimetern:

$$v = \frac{V'' - V'}{ab}.$$

Ist das Rohrstück ab nicht calibrisch, so calibrirt man es in der oben angegebenen Weise.

3) Das Rohr rr' wird bis auf etwa 1 cm mit Quecksilber (in dem Quecksilberkasten!) gefüllt, wobei zuerst das Rohr möglichst wenig geneigt gehalten wird. Die an den Wänden festhaftenden Luftblasen entfernt man wie oben.

Dann füllt man das Rohr ganz, schliesst fest mit dem Finger und kehrt, ohne dass Luft wieder eindringt, das mit Quecksilber gefüllte Rohr in der Quecksilberwanne W um. Das Quecksilber sinkt bis auf die Höhe des augenblicklichen Barometerstandes herab, und lässt oberhalb das Torricelli'sche Vacuum zurück.

4) Man schiebt den Glasmantel RR über das Barometerrohr rr' und drückt es fest über den mit rr' fest verbundenen Kautschukstopfen bei r'.

5) In dem kleinen Fläschchen, Fig. 59, wägt man eine gewisse Menge P der zu untersuchenden Substanz ab. Sorgfältig ist darauf zu achten, dass der Stöpsel nur lose auf dem Gläschen aufsitzt und sich nicht festhängt.

6) Man neigt das Rohr rr' mit seinem Mantel RR so weit, dass das Quecksilber sich gerade wieder an das obere Ende des Glases anlegt und führt das Fläschchen durch das Quecksilber in der Wanne W hindurch von unten in das Rohr rr' ein.

Das Fläschchen steigt in die Höhe. Meist noch ehe dasselbe das Rohrende erreicht, verdampft ein Theil der Flüssigkeit, die Dämpfe treiben den Stopfen heraus, entweichen und treiben das Quecksilber zurück.

7) Man führt den Dampfmantel RR wieder in die verticale Lage zurück und befestigt denselben an seinem Stativ, so dass der untere Rand des Rohres rr' einige Millimeter vom Boden der Wanne entfernt ist.

Nun verbindet man durch die Röhre s das obere Ende von R mit dem Kessel K, in dem man eine Flüssigkeit zum Verdampfen bringt, deren Siedepunkt t höher liegt als derjenige der zu untersuchenden Substanz bei dem im Rohre rr' vorhandenen Druck. Der durch RR streichende Dampf bringt die in rr' enthaltene Substanzmenge vollständig zum Verdampfen und die Temperatur des Dampfes auf t^0. Das Anheizen muss langsam und vorsichtig erfolgen.

8) Der am unteren Ende von RR austretende Dampf wird durch das Rohr a und die in C enthaltene Kühlschlange geleitet und dadurch condensirt; in F fängt man die gebrauchte Flüssigkeit wieder auf. Durch C wird beständig ein Strom kalten Wassers geschickt.

Als Siedeflüssigkeit können z. B. verwendet werden:

Wasser, Siedepunkt . . . . . $= 100^0$
Anilin „ . . . . . $= 182^0$.

9) Während des Erhitzens stellt man zur Messung der Höhe der Quecksilbersäule die Vorrichtung M neben den Apparat. Man stellt die untere Spitze genau auf die Quecksilberoberfläche ein, was sehr scharf geschehen kann, da bei einem Schweben derselben über dem Quecksilber ihr Spiegelbild im Quecksilber deutlich und scharf erscheint, bei dem geringsten Eintauchen aber die Quecksilberoberfläche deformirt wird.

Hat man die Scala auf diese Weise eingestellt, so verschiebt man den Schieber M mit seiner Ablesevorrichtung so lange auf dem äusseren Stabe, bis die Quecksilberkuppe gerade eingestellt ist und liest ihre Höhe h, sowie den Barometerstand b ab.

Ferner misst man die Höhe h' der Marke a, wenn man ein Rohr wie Fig. 60 verwendet, und falls dies Ende der Quecksilbersäule nicht in unmittelbarer Nähe des Stopfens steht, der den Mantel RR nach unten abschliesst, auch die Höhe h'' des Stopfens über dem Quecksilber.

Ist das Rohr rr' getheilt, so liest man das Volumen V unmittelbar ab und corrigirt es eventuell noch auf Grund der nach 2) erhaltenen Correctionstabelle.

IV. Berechnung. Ist das Rohr nicht getheilt, so hat man das Volumen des oberen Theiles noch um $(h' - h)\,v$ cbcm zu vermehren, wenn

die Quecksilberkuppe unter der Marke a steht, um $(h - h')\,v$ cbcm zu vermindern, wenn diese über der Marke steht. Es ist also das Volumen des Dampfes

$$V = v' + (h' - h)\,v \text{ cbcm.}$$

Die Quecksilbersäule h reducirt man mit hinreichender Genauigkeit auf 0^0, indem man die in den Dampfmantel hineinragende Länge $h - h''$ derselben durch $(1 + \gamma t)$ dividirt, die übrige Länge h'' durch $(1 + \gamma\tau)$, wo τ die Zimmertemperatur ist, und beide reducirte Längen addirt. γ ist der cubische Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers $= 0{,}000181$. Diese Summe ist für h in die unter I., S. 98, gegebene Formel einzusetzen. Das Gewicht G ergiebt sich aus den Wägungen in 5).

Beispiel: $V' = 72{,}6$ cbcm; V'' (ganzes Volumen des Rohres) $= 109{,}5$ cbcm; $ab = 605$ mm; $v = (V'' - V') : ab = 36{,}9 : 605 = 0{,}061$ cbcm; $G = 0{,}198$ g; $ClHCl_3$ $(= 120)$; $h' = 605$ mm; $h = 320$ mm; $b = 744$ mm; $t = 100^0$; $V = 72{,}6 + (605 - 320) \cdot 0{,}061 = 90{,}0$ cbcm; $V_{760{,}0} = 36{,}7$; $\Delta = 4{,}18$; $M = 121$.

5. Methode von Bunsen, Ausfluss durch enge Oeffnungen.

Gebraucht wird: Calibrirte Röhre mit feiner Oeffnung am unteren Ende; Stativ; Quecksilberkasten; Spritzflasche; Quecksilber; Chronoskop. — Bunsen'sches Effusiometer; Kipp'scher Apparat für Kohlensäure und Wasserstoff; Wasch- und Trockenflaschen.

I. Princip. Fliesst eine Flüssigkeit aus einer Oeffnung von o qcm während der Zeit t mit der Geschwindigkeit von v cm, so befindet sich das zu Beginn der ersten Secunde durch einen Punkt der Oeffnung gehende Theilchen am Ende derselben in einer Entfernung von v cm. Die durch alle Punkte der Oeffnung gehenden Theilchen erfüllen am Ende der ersten Secunde einen Cylinder vom Querschnitt o und der Länge v, sie nehmen ein Volumen ov ein. Fliesst die Flüssigkeit t Secunden aus, so ist das ausgetretene Volumen $V = ovt$ cbcm. Man bestimmt die Ausflussgeschwindigkeit v, indem man die Zeit t ermittelt, die ein bestimmtes Volumen V braucht, um auszufliessen. Fliesst von zwei verschiedenen Flüssigkeiten 1 und 2 das gleiche Volumen V in den Zeiten t_1 und t_2 aus, so ist:

$$V = o v_1 t_1 = o v_2 t_2,$$

also:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{t_2}{t_1}.$$

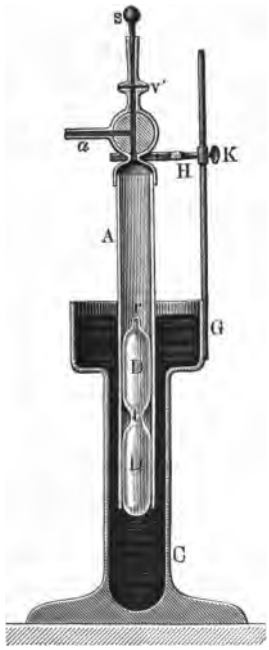
Befindet sich in dem Boden eines Gefässes eine Oeffnung und steht die Flüssigkeit über derselben bis zur Höhe h, so ist nach dem Torricelli'schen Theorem die Ausflussgeschwindigkeit $v = \sqrt{2gh}$, d. h. die Flüssigkeitstheilchen haben beim Austreten durch die

Oeffnung die gleiche Geschwindigkeit, wie wenn sie von der Oberfläche bis zur Oeffnung frei herunterfielen. Die Ausflussgeschwindigkeit ist ganz unabhängig von der Natur der Substanz (wenn man von ihrer inneren Reibung absieht u. s. w.).

Uebung. Eine 650 mm lange, am oberen Ende mit einer Marke, am unteren mit einer feinen Oeffnung versehene Röhre *A*, Fig. 61, wird nach einander mit Quecksilber und Wasser gefüllt, während man mit dem Finger der einen Hand die Oeffnung zuhält; dann nimmt man in die andere Hand das Chronoskop, lässt zu gleicher Zeit die Arretirung und den Finger los und misst die Zeit, bis die Flüssigkeit ausgelaufen ist. Sie ist bei Wasser und Quecksilber gleich. Der Druck ist im ersten Falle 13,6 mal grösser als im zweiten, aber die zu bewegende Masse ist ebensoviel mal grösser.

Fig. 61.

Fig. 62.



Wir wollen die beiden Flüssigkeitssäulen nicht gleich hoch wählen, sondern so hoch (h_1 und h_2), dass der Druck auf den Boden in beiden Fällen der gleiche ist. Das Verhältniss dieser Höhen h_1 und h_2 ist, wenn d_1 und d_2 die Dichten der beiden Flüssigkeiten sind:

$$h_1 : h_2 = d_2 : d_1$$

und das Verhältniss der Ausflussgeschwindigkeiten:

$$v_1 : v_2 = \sqrt{h_1} : \sqrt{h_2} = \sqrt{d_2} : \sqrt{d_1},$$

also das Verhältniss der zum Ausfliessen gleicher Volumina nöthigen Zeiten:

$$t_1 : t_2 = \sqrt{d_1} : \sqrt{d_2}.$$

Die zum Ausfluss gleicher Volumina unter gleichem Druck erforderlichen Zeiten verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Dichten.

Derselbe Satz gilt für Gase, die unter dem gleichen, an einer Quecksilbersäule gemessenen Drucke stehen.

II. Apparat von Bunsen: An ein Glasrohr *A* (Fig. 62) ist oben ein eiserner Dreiweghahn angekittet, der mit einem seitlichen Rohre α und einem nach oben gehenden Ansatze v' verbunden ist. Bei v' ist ein dünnes, mit einem sehr feinen Loch durchbohrtes Platinblech befestigt, das bei Nichtgebrauch durch den Stöpsel *s* vor Staub geschützt ist. Das Glasrohr taucht in einen mit Quecksilber gefüllten Eisen- oder Holz-

cylinder, in dessen oben erweitertem Theile an zwei einander gegenüberstehenden Stellen Spiegelglasplatten eingesetzt sind.

In dem Cylinder befindet sich noch ein Schwimmer DD, der bei t zwei Marken unmittelbar über einander trägt.

III. **Uebung.** 1) Man füllt A mit dem zu untersuchenden Gase. Dazu verbindet man α mit dem Gasentwickelungsapparat und stellt den Dreiweghahn so, dass das Gas in A einströmen kann; man stellt das Rohr A zunächst möglichst tief, hebt es dann langsam in die Höhe, bis es ganz mit Gas gefüllt ist, dreht den Hahn so, dass beim Eindrücken von A das Gas durch v' entweichen muss, und drückt A nieder. Dies wiederholt man so oft (zwei- bis dreimal), bis man annehmen kann, dass A reines Gas enthält. Dann füllt man A noch einmal ganz, dreht den Hahn so, dass keine Communication mit der Umgebung vorhanden ist und drückt den Cylinder A möglichst tief ein.

2) Man nimmt das Chronoskop in die Hand, stellt den Hahn so, dass A durch v' mit der Umgebung communicirt, visirt über die Quecksilberoberfläche durch die Spiegelglasscheiben hin, lässt in dem Moment, wo die Spitze r des Schwimmers über die Quecksilberoberfläche heraustritt, das Chronoskop angehen und arretirt dasselbe, wenn die zweite Marke bei t dieselbe Lage einnimmt. Eine über t befindliche erste Marke dient dazu, den Beobachter auf das Hervortreten der zweiten vorzubereiten.

Die zum Ausfluss nöthige Zeit sei t_1.

3) Man hebt den Cylinder aus dem Quecksilber heraus, füllt ihn mit Luft und wiederholt den Versuch mit derselben. Die Zeit des Ausflusses, während der Schwimmer sich bis zur Marke t erhebt, sei jetzt t_2.

Dann entsprechen t_1 und t_2 dem Ausfluss gleicher Volumina, nämlich desjenigen Volumens, welches beim Steigen der Quecksilbersäule um die Strecke rt verdrängt wird.

IV. Berechnung. Nach I. ist:

$$\sqrt{D_1} : \sqrt{D_2} = t_1 : t_2,$$

wo D_1 die Dichte des Gases, D_2 die Dichte der Luft ist. Die auf die Dichte der Luft als Einheit bezogene Gasdichte ist also:

$$D = \frac{t_1^2}{t_2^2}.$$

Die Versuche sind mit Kohlensäure und Wasserstoff anzustellen.

Beispiel: Kohlensäure: $t_1 = 26{,}5$; $t_2 = 21{,}4$; $D = 1{,}53$. Wasserstoff: $t_1 = 5{,}6$; $D = 0{,}0685$.

Allgemeines.

1. Unter Voraussetzung der Gültigkeit des Boyle-Gay-Lussac'schen Gesetzes lässt sich theoretisch aus der kinetischen Gastheorie das ursprünglich auf anderem Wege gefundene „Avogadro'sche Gesetz" ableiten:

Gleiche Volumina verschiedener Gase enthalten bei gleichem Druck und gleicher Temperatur eine gleiche Anzahl von Molecülen (vergl. S. 81).

Die bei den Gasen und Dämpfen aus den Beobachtungen bei einer Temperatur und einem Drucke abgeleitete Dichte kann nur dann mit dem theoretisch aus dem Avogadro'schen Gesetz gefundenen Werthe übereinstimmen, wenn das Boyle-Gay-Lussac'sche Gesetz streng gültig ist.

Die durch die vorhandenen Abweichungen von diesen Gesetzen hervorgebrachten Differenzen sind aber zu klein, als dass nicht die für den Chemiker wichtige Entscheidung, das Wievielfache das Moleculargewicht von dem aus der Analyse gefundenen Werthe ist, auf Grund einer sorgfältigen Dampfdichtebestimmung gefällt werden könnte.

Aus den Dichten der Dämpfe und Gase lassen sich zunächst keine Schlüsse auf die Dimensionen ihrer Molecüle ziehen, da dieselben gegenüber den mittleren Abständen derselben verschwinden, dagegen ist dies aus den Abweichungen von dem Boyle-Gay-Lussac'schen Gesetz möglich. Ebenso wenig erhalten wir die Gewichte der Molecüle selbst aus Dampfdichtebestimmungen, sondern nur das Verhältniss der Gewichte der Molecüle zweier Gase.

2. a) Die Dampfdichtebestimmungen und damit die Moleculargewichtsbestimmungen haben den Zweck, das Moleculargewicht einer Verbindung, deren procentische Zusammensetzung durch die Analyse festgestellt ist, zu ermitteln.

Während man durch die Analyse z. B. nicht zu entscheiden vermag, ob ein Kohlenwasserstoff die Zusammensetzung C_2H_4, C_3H_6, C_4H_8 hat, da jeder derselben 14,3 Proc. H und 85,7 Proc. C enthält, so ergeben sich für die Dampfdichten Δ die Werthe bei

C_2H_4 $\Delta = 0{,}97$ C_3H_6 $\Delta = 1{,}45$ C_4H_8 $\Delta = 1{,}94$

lassen also eine sichere Entscheidung über die Formel, die dem Körper zukommt, zu und ebenso in vielen anderen Fällen.

b) Weiter dient die Dampfdichte dazu, die Werthigkeit eines Elementes zu bestimmen. Je nachdem z. B. das Aluminiumchlorid eine der beiden nach der Analyse gleich berechtigten Formeln $AlCl_3$ oder Al_2Cl_6 besitzt, ist dasselbe drei- oder vierwerthig, die Dampfdichte hat für das erstere entschieden.

c) Die Dampfdichtebestimmung lässt ferner erkennen, ob ein Körper im Dampfzustande dissociirt ist oder nicht, was oft auf anderem Wege zu entscheiden nicht möglich ist, indem sich bei der Abkühlung die ursprüngliche Substanz wieder bildet.

Salmiak, NH_4Cl, würde unzersetzt im Dampfzustande die Dampfdichte 1,85 haben, er hat aber nur eine Dampfdichte 0,92, er ist in NH_3 und HCl zerfallen.

Bei einem Körper, dessen Dampfdichte mit steigender Temperatur abnimmt, müssen wir annehmen, dass er bei niederen Temperaturen in geringerem Maasse dissociirt ist, als bei höheren; so verhält sich das Jod, dessen Dampf bei niederen Temperaturen aus Molecülen J_2, bei sehr hohen aus Molecülen J und bei zwischenliegenden aus einem Gemisch von Molecülen J_2 und J besteht.

VII. Elasticität.

Einleitung. Haben wir einem festen Körper durch eine äussere Kraft eine Formveränderung ertheilt, so sucht derselbe mehr oder weniger seine frühere Gestalt wieder anzunehmen, er besitzt eine gewisse Elasticität. Wir bezeichnen die hiermit zusammenhängenden Erscheinungen als elastische.

Je nach der Art der Formveränderung unterscheiden wir hauptsächlich eine Elasticität der Dehnung, der Biegung, der Torsion und der Compression.

Vollkommen elastische Körper sind solche, die nach dem Aufhören der Kraft vollkommen in ihren Anfangszustand zurückkehren, unvollkommen elastische sind solche, bei denen dies nicht der Fall ist. Wir betrachten nur vollkommen elastische Körper, ermitteln die Gesetze, welche die Grösse der Formveränderung als abhängig von der Grösse der wirkenden Kraft und den Dimensionen der Körper darstellen und bestimmen endlich die für jeden Körper eigenthümlichen Elasticitätsconstanten. Unter elastischer Nachwirkung verstehen wir die Erscheinung, dass der Endzustand nicht unmittelbar nach Einwirkung der Kraft oder Aufhören derselben, sondern erst nach längerer Zeit eintritt, resp. dass während längerer Zeit noch Gestaltsänderungen eintreten, ohne dass die äussere Kraft verändert wird.

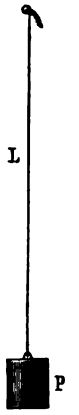
1. Elasticität der Dehnung.

Gebraucht wird: Kautschukfäden von 5 und 10 mm Durchmesser mit Hülsen und Zeigern; verticaler Maassstab, an dem sich die Indices verschieben; zwei dünne Silberdrähte; Träger in der Wand; kleines Ablesekathetometer; Ocularmikrometer; Gewichte zum Anhängen; Dickenmesser; Waage; Gewichtssatz.

I. Princip. Hängen wir einen Draht L, Fig. 63 (a. f. S.) vertical auf und belasten sein unteres Ende mit einem Gewicht P, so erfährt er eine Dehnung.

Die Dehnung λ eines Drahtes ist direct proportional dem wirkenden Gewichte P, der Länge des Drahtes L, umgekehrt proportional dem Querschnitte Q; also ist:

Fig. 63.



$$\lambda = \varepsilon \frac{PL}{Q}.$$

Hier ist ε eine Constante, der Elasticitätscoëfficient, der von Körper zu Körper sich ändert. Ist das wirkende Gewicht, die Länge und der Querschnitt des Drahtes gleich Eins, d. h.:

$$P = 1, \quad L = 1, \quad Q = 1,$$

so ist

$$\lambda = \varepsilon.$$

Der Elasticitätscoëfficient ε ist die Verlängerung λ, die ein Draht von der Länge 1 und dem Querschnitt 1 durch das Gewicht 1 erfährt.

Statt des Elasticitätscoëfficienten ε führt man auch den Elasticitätsmodul E ein:

$$E = \frac{1}{\varepsilon}, \quad \text{also} \quad E = \frac{PL}{Q\lambda}.$$

Ist

$$L = 1, \quad Q = 1, \quad \lambda = 1,$$

so ist

$$E = P,$$

d. h. der Elasticitätsmodul ist das Gewicht, welches einen Draht von der Länge 1 und dem Querschnitt 1 um die Länge 1 dehnen würde.

Als Einheit des Gewichtes dient hier das Kilogramm, als Einheit der Länge das Millimeter, als Einheit des Querschnittes das Quadratmillimeter, oder man legt das C.-G.-S.-System zu Grunde.

IIa. Apparat. Die zu untersuchenden Drähte werden an einem Träger aufgehängt, der an der Wand befestigt ist, und der an seinem Ende eine verticale feste Messingplatte trägt, gegen die sich eine andere durch Flügelschrauben anpressen lässt. Um die Gesetze der Dehnungselasticität angenähert zu prüfen, verwenden wir Kautschukfäden, kitten ihre Enden mit Siegellack in Hülsen mit Haken und halten sie in denselben noch durch durchgesteckte Stifte fest. Der obere Haken wird durch einen passend gebogenen Draht zwischen den Platten des Trägers befestigt, an den unteren wird eine Waagschale mit den Gewichten angehängt. Ueber die Hülsen sind Messingröhrchen mit Zeigern geschoben, die sich längs einer Scala verschieben.

IIIa. **Uebung.** 1) Man misst die Verlängerungen eines Kautschukfadens von der Dicke von 5 mm und der Länge von 500 mm bei Belastungen von 100, 200 ... 600 g. Sind die Dehnungen a_1, $a_2 \ldots a_6$, so ist:

$$\frac{a_1}{1} = \frac{a_2}{2} = \ldots = \frac{a_6}{6}.$$

2) Man nimmt einen Kautschukfaden von derselben Dicke und der doppelten Länge; bei der Belastung mit 200 g sei die Dehnung a_2', dann ist:

$$a_2' = 2\,a_2.$$

3) Man nimmt einen Kautschukfaden von der Dicke von 10 mm, also dem vierfachen Querschnitt wie bei 1, und der Länge von 500 mm; bei der Belastung von 600 g ist die Dehnung a_6'', dann ist:

$$a_6'' = \frac{1}{4}\,a_6.$$

Beispiel: Bei einem Kautschukfaden von kreisförmigem Querschnitt war die Dicke 10 mm, der Querschnitt also $Q = \pi \times 5^2$, die Länge $L = 680$, das Gewicht $P = 0{,}8$ und $\lambda = 115$, also ist:

$$E = 0{,}06024.$$

Anmerkung. Die Messungen müssen etwas schnell ausgeführt werden, da der Kautschuk starke elastische Nachwirkung zeigt, d. h. bei dauernder Belastung steigende Dehnungen erfährt.

Für Metalldrähte, deren Dehnung bei der Belastung sehr klein ist, bei denen E sehr gross ist, müssen wir feinere Hülfsmittel anwenden.

Bei der einfachsten, auch oft benutzten Methode hängen wir einen sehr langen Draht auf, machen auf ihm oben und unten eine Marke und bestimmen den Abstand zwischen beiden bei verschiedenen Belastungen. Damit die Längenänderungen aber einigermaassen beträchtlich werden, brauchen wir sehr grosse Längen, dann muss aber das Messinstrument entsprechend lang sein, was indess nicht immer bequem ist. Wollte man nur die Stellung der unteren Marke ablesen, so würde ein wesentlicher Fehler dadurch entstehen, dass sich auch die Träger, an denen die Drähte aufgehängt sind, senken. Der Einfluss hiervon wird folgendermaassen vermieden:

IIb. Apparat. Man hängt dicht neben einander an einem in die Wand eingelassenen Galgen zwei Drähte auf. Beide erhalten in demselben Abstande vom oberen Ende unten Marken, während man sie schwach belastet, so dass sie gestreckt sind. Vor den beiden Drähten, in derselben Höhe wie die beiden Marken, wird das Fernrohr eines Kathetometers, am besten mit Ocularmikrometer, aufgestellt und die Höhendifferenz der Marken an den beiden Drähten bei verschiedenen Belastungen ermittelt. Diese Differenz giebt die Dehnung des untersuchten Drahtes. Senkt sich dabei auch der Träger ein wenig, so trifft dies doch beide Drähte in gleicher Weise.

IIIb. **Uebung.** α) Bestimmung von λ:

Man belastet beide Drähte nur wenig:

1. Lage der Marke auf A . . . . . a
2. „ „ „ „ B . . . . . b

Man hängt 1 kg an A an:

3. Lage der Marke auf A . . . . . a_1
4. „ „ „ „ B . . . . . b_1

Dehnung durch 1 kg . . . . . $d_1 = (a_1 - b_1) - (a - b)$

5. und 6. Man bestimmt ebenso die Dehnung d_2 bei Belastung mit 2 kg, d_3 bei 3 kg u. s. f. Dann soll sein die Dehnung proportional der Belastung, also:

$$\frac{d_1}{1\,\text{kg}} = \frac{d_2}{2\,\text{kg}} = \frac{d_3}{3\,\text{kg}} \ldots .$$

Um den Elasticitätscoëfficienten zu erhalten, müssen wir noch die Länge L und den Querschnitt Q kennen.

β) Bestimmung von L. Man misst den Abstand der Marke von dem Aufhängungspunkte mit einem gewöhnlichen Maassstabe.

γ) Bestimmung des Querschnittes Q.

a) Ist der Draht nicht zu dünn und kreisrund, so misst man den Durchmesser δ mit einem Dickenmesser (S. 16), der Radius r ist dann $\delta/2$, der Querschnitt $Q = \pi \left(\frac{\delta}{4}\right)^2$.

b) Ist der Draht sehr dünn, so erhält man den Querschnitt Q aus dem Gewicht G eines Stückes von der Länge l und dem specifischen Gewicht s (vgl. S. 54):

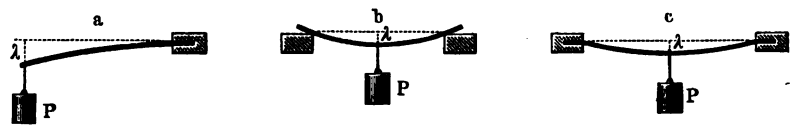
$$Q = \frac{G}{ls}.$$

2. Elasticität der Biegung.

Gebraucht wird: Apparat Fig. 65; drei Stahlstäbe, ein Kupferstab; Haken zum Ueberschieben; verticale Scala; Gewichte zum Anhängen; Dickenmesser.

I. Princip: Hängen wir an einen in horizontaler Richtung befestigten Stab von rechteckigem Querschnitt von der Länge L, der Höhe H, der Breite B ein Gewicht P (siehe Fig. 64), so biegt sich der Stab.

Fig. 64.



Die Senkung λ des Aufhängepunktes des Gewichtes ist:

$$\lambda = k\varepsilon \frac{PL^3}{BH^3},$$

d. h. sie ist proportional dem Gewicht, der dritten Potenz der Länge, umgekehrt proportional der Breite und der dritten Potenz der Höhe. Die

Grösse k hängt von der Art der Befestigung ab, bezüglich derselben sind drei Hauptfälle (Fig. 64) zu unterscheiden:

a) Ein Ende ist frei, ein fest: $k = 4$; b) beide Enden sind frei und ruhen auf Schneiden: $k = {}^1/_4$; c) beide Enden sind fest: $k = {}^1/_{16}$.

Die Grössen der Biegungen α_1, α_2, α_3 bei dem gleichen Stabe, bei gleicher Länge und Belastung verhalten sich also in den drei Fällen wie

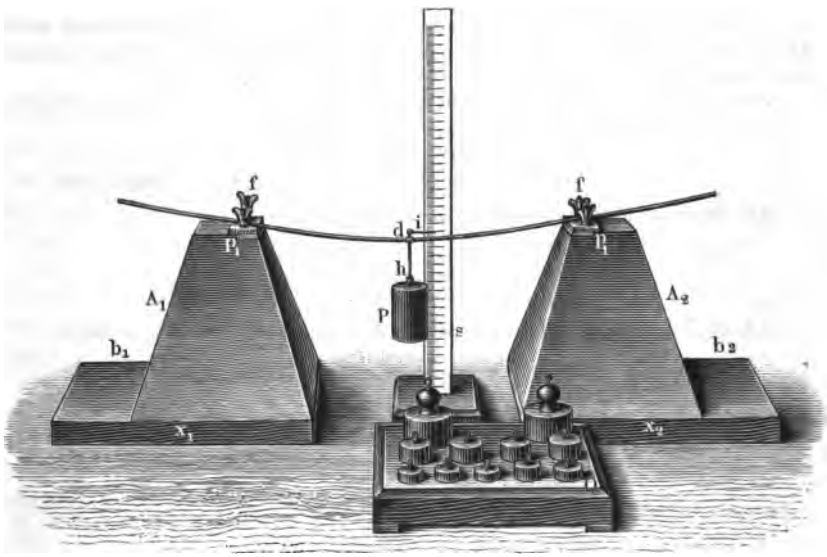
$$\alpha_1 : \alpha_2 : \alpha_3 = 64 : 4 : 1.$$

Der Elasticitätsmodul ist

$$E = \frac{1}{\varepsilon} = \frac{k P L^3}{\lambda B H^3}.$$

II. Apparat, Fig. 65. Derselbe besteht aus zwei Holzklötzen A_1 und A_2 (Höhe circa 23 cm, Breite an der Basis 20, oben 7 cm), welche

Fig. 65.



unten auf Bretter x_1 und x_2 aufgeleimt sind, auf die bei b_1 und b_2 schwere Gewichte gesetzt werden können, um sie festzustellen. Oben tragen diese Klötze Klemmen $P_1 P_1$. Dieselben bestehen je aus zwei Platten, von denen die eine auf dem Klotze festgeschraubt ist, die andere durch Flügelschrauben f gegen die erstere gedrückt oder auch abgenommen werden kann. Zur Beobachtung der Durchbiegung dient der Index i, der an einem zu einem Rechteck gebogenen Draht befestigt ist, welcher über die Stäbe geschoben werden kann und zum Anhängen des Gewichtes P einen Haken bei h trägt. Der Index verschiebt sich längs einer auf einem besonderen Holzstativ aufgeleimten verticalen Scala s.

Benutzt werden drei Stahlstäbe, je 800 mm lang, die resp. nahe gleiche Breite, aber verschiedene Höhe, und gleiche Höhe, aber verschiedene Breite haben. Zweckmässige Dimensionen sind:

Stab I: $H = 3{,}3$ mm, $B = 9{,}4$ mm;
Stab II: $H = 3{,}2$ mm, $B = 14{,}5$ mm;
Stab III: $H = 1{,}5$ mm, $B = 10{,}1$ mm;

und ein Kupferstab von etwa 1,6 mm Dicke und 10 mm Breite. Am einen Ende sind die Stäbe ein wenig aufgebogen, damit die Führung d nicht herunter gleitet.

III. **Uebung.** Um die Gesetze zu prüfen, werden die Stäbe auf verschiedene Längen gebracht, indem man sie verschieden weit zwischen die Platten P_1 und P_2 zurückzieht und mit verschiedenen Gewichten belastet. Der Gang der Uebung geht am besten aus dem folgenden Beispiel hervor:

Es werden zunächst die Stäbe nur an einem Ende eingeklemmt; dazu wird der Block A_1 fortgenommen, Scala und Index an das Ende des Stabes gerückt und dann belastet.

Stab I wird bei verschiedenen Belastungen und in zwei Längen untersucht:

a) $L = 600$ mm

P =	0,1	0,2	0,4	0,5 kg	
λ =	12	25	51	62,4 mm	
λ/P =	120	125	128	125	Mittel 125.

Die Biegung ist also proportional der Belastung:

b) $L = 300$

P =	0,5	0,8	
λ =	8	13,5	
λ/P =	16	17	Mittel 16,5.

Ist die Biegung der dritten Potenz der Länge proportional, so muss

$$\frac{125}{(600)^3} = 5{,}8 \cdot 10^{-7} \quad \text{gleich sein} \quad \frac{16{,}5}{(300)^3} = 6{,}1 \cdot 10^{-7},$$

was in der That nahe der Fall ist.

Aus dem Werthsystem $L = 300$, $P = 0{,}5$, $\lambda = 8$ berechnet sich, da der Stab an dem einen Ende geklemmt ist:

$$E = \frac{4 \cdot 0{,}5 \cdot (300)^3}{8 \cdot 9{,}4 \cdot (3{,}3)^3} = 19980.$$

Stab II. Für diesen ergaben sich als zusammengehörige Werthe:

$$L = 300, \quad P = 0{,}8, \quad \lambda = 9{,}5.$$

Hieraus berechnet sich:

$$E = \frac{4 \cdot 0{,}8 \cdot (300)^3}{9{,}5 \cdot 14{,}5 \cdot (3{,}2)^3} = 19140.$$

Da für diesen Stab, der dieselbe Dicke wie I., aber etwa die anderthalbfache Breite hat, sich derselbe Werth von E wie für I. ergiebt, so folgt, dass die Biegung in der That umgekehrt proportional der Breite ist.

Stab III. Für diesen ergaben sich als zusammengehörige Werthe:

$$L = 600, \quad P = 0{,}05, \quad \lambda = 62,$$

also:

$$E = \frac{4 \cdot 0{,}05 \cdot (600)^3}{62 \cdot 10{,}1 \cdot (1{,}5)^3} = 20450 \text{ (rund)}.$$

Da für Stab III., der dieselbe Breite wie I., aber die halbe Dicke hat, sich derselbe Werth von E wie für I. ergiebt, so folgt, dass die Biegung umgekehrt proportional der dritten Potenz der Dicke ist.

Um noch zu prüfen, ob die Werthe von k die oben angegebene Grösse besitzen, wird der Stab III in der Länge $L = 600$ verwendet; dann wird:

1. am einen Ende geklemmt: $P_1 = 0{,}05$, $\lambda_1 = 62$, $\alpha_1 = \lambda_1/P_1 = 1240$;
2. beide Enden frei aufgelegt: $P_2 = 0{,}8$, $\lambda_2 = 70$, $\alpha_2 = \lambda_2/P_2 = 87{,}5$;
3. beide Enden festgeklemmt: $P_3 = 0{,}8$, $\lambda_3 = 18$, $\alpha_3 = \lambda_3/P_3 = 22{,}5$.

In der That verhält sich also sehr nahe:

$$\alpha_1 : \alpha_2 : \alpha_3 = 64 : 4 : 1.$$

3. Elasticität der Torsion.

Gebraucht wird: Der Torsionsapparat, Fig. 67, mit Gewichten und zwei Messingdrähten von ca. 2,2 mm und 3,0 mm Durchmesser; Kreuz mit Stiften; durchbohrte Bleigewichte; Chronoskop.

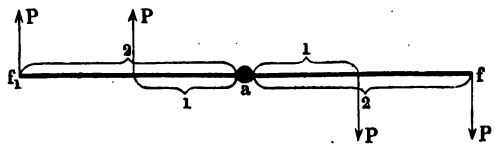
Einleitung. Klemmen wir das eine Ende eines Drahtes fest, so dass es sich nicht drehen kann, und drillen sein anderes Ende, so entsteht in dem Draht in Folge der Verschiebung der Molecüle gegen einander eine Kraft, die Torsionskraft, welche den Draht in seine frühere Lage zurückzuführen strebt. Diese Kraft ist bei vollkommen elastischen Drähten proportional dem Winkel der Drillung oder Torsion.

Sie wechselt unter sonst gleichen Umständen von Körper zu Körper, ein jeder ist in Bezug auf die Torsion durch eine Constante, den Torsionscoëfficienten, charakterisirt. Zur Bestimmung des Torsionscoëfficienten werden zwei Methoden benutzt.

A. Erste (statische) Methode zur Bestimmung des Torsionscoëfficienten.

I. Princip. Befestigen wir am unteren Ende des Drahtes mit dem Querschnitt a (Fig. 66) einen horizontalen Arm ff_1, und lassen zunächst

Fig. 66.



in dem Abstande 1 auf einer Seite eine Kraft P wirken, so wird durch dieselbe der Draht so lange gedreht, bis die sich in ihm entwickelnde Torsionskraft den äusseren Kräften das Gleichgewicht hält.

Wir bringen auf beiden Seiten gleich grosse und entgegengesetzt gerichtete Kräfte, ein sogenanntes Kräftepaar, an, damit nicht eine seitliche Verschiebung des Drahtendes eintritt.

Bei allen drehenden Kräften ist aber die Wirkung abhängig von der Grösse der Kraft und dem Abstande, in dem sie wirkt.

Rückt der Angriffspunkt der Kraft P in den doppelten Abstand von a nach f und f_1, so greift sie an einen doppelt so langen Hebelarm an, ihr Drehungsmoment ist doppelt so gross, und der Draht muss, ehe Gleichgewicht eintritt, sich doppelt so stark tordiren, weil erst dann die Torsionskraft doppelt so gross wird.

Die Grösse der Drehung, der Drehungswinkel φ, hängt ab wie erwähnt von der wirkenden Kraft P, dem Abstande l ihres Angriffspunktes von der Axe des Drahtes, ferner von der Länge des Drahtes L, dem Radius R desselben und einer Constanten, dem Torsionscoëfficienten T; es ist:

$$\varphi = \frac{1}{T} \cdot \frac{L}{R^4} Pl^{1}),$$

also:

$$T = \frac{L.Pl}{R^4 \varphi}.$$

Ist der Torsionswinkel $\varphi = 1$, so ist das Moment der rücktreibenden Kraft

$$f = Pl = \frac{TR^4}{L}.$$

Als Einheit der Länge dient hier wie oben das Millimeter, als Einheit der Masse die von einem Kilogramm, als Einheit des Winkels derjenige, dessen Bogen gleich dem Radius ist, nämlich $\alpha_1 = 57^0\,17'\,47'' = 57{,}296^0$; lesen wir also an einem Kreise in gewöhnlicher Weise, vergl. S. 25, einen Winkel α ab, so ist

$$\varphi = \alpha/57{,}296.$$

II. Apparat. Der zu untersuchende Draht wird an seinem oberen Ende zwischen zwei Messingplatten b, Fig. 67, die durch zwei Flügelschrauben an einander gepresst werden, festgehalten. Dieselben sind an einem Messingstabe m befestigt, der sich hoch und niedrig stellen lässt. Die diesen tragende Führung f ist selbst wieder an einen horizontalen Balken h angeschraubt, der sich an einem hohen Ständer in verschiedenen Höhen festklemmen lässt.

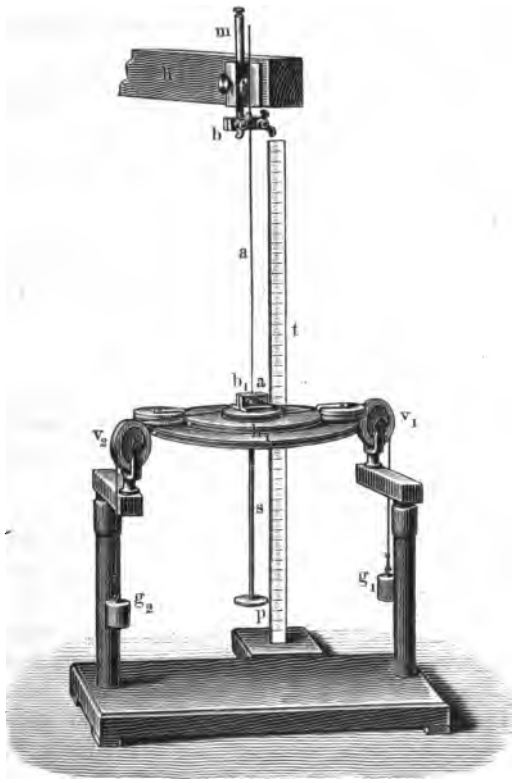
Das untere Ende a des Drahtes ist fest mit der zur Anbringung der tordirenden Kräfte dienenden Vorrichtung verbunden, und zwar wiederum durch zwei auf einander zu schraubende Messingplatten b_1. Diese Vorrichtung selbst besteht aus einer dünnen Holzscheibe h_1, in die etagenförmig über einander drei Hohlrinnen von den Radien 3,5 und 7 und 10,5 cm eingedreht sind. In ihnen sind kleine Stifte befestigt, an die Schnüre gehängt werden, die man einige Male in der Rinne herumlegt, und die über die Rollen v_1 und v_2 gehen; an den Enden der Schnüre werden Gewichte g_1 und g_2 aufgehängt. Die Rollen werden so gestellt,

[1]) In der Figur 66 wirkt auf jeder Seite die Kraft P, also im Ganzen eine Kraft $2P$.

dass ihre Rinnen in der Verlängerung von Tangenten an den Rinnen der Holzscheibe liegen. Dann schmiegen sich ihnen die die Gewichte tragenden Schnüre vollkommen an.

An der Holzscheibe ist unten ein Stab s mit einer Platte p angebracht. Auf dieselbe legt man die Gewichte, die den Draht spannen. Der Umfang der Holzscheibe ist getheilt und neben derselben ein sie fast berührender Stab t aufgestellt, an dem die Drehungen der Scheibe abgelesen werden.

Fig. 67.



III. **Uebung.** Prüfung der Gesetze und Bestimmung der Torsionscoëfficienten.

1) Man hängt, während man die Gewichte an derselben Rinne, also an demselben Hebelarm angreifen lässt, Gewichte 1, 2, 3 an die Schnüre; die Drehungen werden α, 2α, 3α.

2) Man hängt die Gewichte mittelst der Schnüre an die Stifte in den Rinnen mit dem einfachen, doppelten, dreifachen Durchmesser, macht also die Länge $l = 1, 2, 3$; bei gleichem Gewicht werden die Drehungen α, 2α, 3α, d. h. die Torsionswinkel verhalten sich direct wie die Drehungsmomente.

3) Man zieht den Draht zwischen den Platten b hindurch und verkürzt ihn dadurch. Gleichzeitig senkt man den ihn tragenden Balken und hält dadurch die Holzscheibe stets in derselben Horizontalebene mit den Rollen.

4) Bei den Längen 1, $^3/_4$, $^1/_2$, $^1/_4$ findet man die Drehungen:

$$\alpha, \quad {}^3/_4\,\alpha, \quad {}^1/_2\,\alpha, \quad {}^1/_4\,\alpha,$$

die Drehungen sind also direct proportional den Längen des Drahtes.

5) Man ersetzt den Draht von der ursprünglichen Dicke d' durch einen Draht einer anderen Dicke d'' und untersucht ihn bei derselben

Länge und demselben Gewicht am gleichen Hebelarm wie den ersten; die Drehungen seien:

$$\alpha \text{ und } \alpha'',$$

dann ist

$$\alpha' : \alpha'' = d''^4 : d'^4.$$

Die Drehungen sind der vierten Potenz der Dicke umgekehrt proportional.

6) Aus irgend einem zusammengehörigen System von Gewicht, Hebelarm, Länge, Dicke und Drehung berechnet man T.

Beispiel: Bestimmung des Torsionscoëfficienten für Messing. Dicke des Drahtes $2R = 2{,}2$ mm; $L = 420$ mm; $P = 2 \times 0{,}2$ kg; $l = 70$ mm; $\alpha = 98^0$; $\varphi = 98/57{,}296$, daraus folgt $T = 4770$.

B. Zweite (dynamische) Methode der Bestimmung des Torsionscoëfficienten.

I. Princip. Wird ein mathematisches Pendel von der Länge L aus seiner Gleichgewichtslage gebracht und dann losgelassen, so fängt es in Folge der Wirkung der Schwerkraft an zu schwingen. Die Schwingungsdauer t ist (S. 28)

$$t = \pi \sqrt{\frac{L}{g}}.$$

Tordiren wir einen Draht, so entwickeln sich in demselben Kräfte, die, wenn man den Draht loslässt, Schwingungen desselben um seine Axe hervorrufen.

Verbinden wir mit dem tordirten Draht irgend welche Massen, so wird durch die Torsionskraft nicht nur seine eigene Masse bewegt, sondern auch die mit ihm verbundenen Massen; gegen diese letzteren können wir die Masse des Drahtes selbst vernachlässigen.

Ist eine Masse m im Abstande ϱ von der Drehungsaxe angebracht, so nennt man $m\varrho^2$ das Trägheitsmoment von m, die Summe aller $m\varrho^2$ bei einem Körper, also $\Sigma m\varrho^2 = Mk^2$ das Trägheitsmoment eines Körpers, wo M die Gesammtmasse desselben ist. Wirkt auf einen Körper vom Trägheitsmomente Mk^2 eine Kraft P am Hebelarm l, ist $P.l = f$ das Drehungsmoment dieser einen Kraft oder eines Systems von Kräften, das ihr das Gleichgewicht hält, t die Schwingungsdauer des Körpers um diejenige Axe, auf welche sich Mk^2 bezieht, so ist:

$$t = \pi \sqrt{\frac{Mk^2}{f}}.$$

Beziehen sich t_1, M_1, k_1, f_1 auf eine Messung, t_2, M_2, k_2, f_2 auf eine zweite, so ist:

$$t_1 = \pi \sqrt{\frac{M_1 k_1^2}{f_1}} \text{ und } t_2 = \pi \sqrt{\frac{M_2 k_2^2}{f_2}}$$

oder:

$$\frac{t_1^2}{t_2^2} = \frac{M_1 k_1^2}{M_2 k_2^2} \frac{f_2}{f_1}.$$

II. Apparat. An Stelle der Scheibe wird ein horizontales Kreuz aus leichtem Holz unten am Draht befestigt, in dessen Arme in den Abständen von 38, 76, 115 von der Axe Stifte eingesetzt sind; über diese Stifte werden cylindrische Bleigewichte vom Gewichte von 0,1 kg mit einem Loch in der Mitte von 1 mm Durchmesser geschoben. Wir nehmen an, dass ihre ganze Masse in ihrer Axe, also im Abstande der Stifte vom Draht concentrirt sei. Das Kreuz ist so leicht, dass man sein Trägheitsmoment gegen dasjenige der Gewichte vernachlässigen kann.

III. **Uebung.** Zu unseren Uebungen dienten zwei Messingdrähte von 1,1 mm und 0,57 mm Radius und etwa 1 m Länge.

Um die Gesetze zu prüfen, werden wieder die verschiedenen Grössen an den Drähten geändert; aus den Messungen ergiebt sich dann der Torsionscoëfficient T. Man stellt den Stab t, Fig. 67, neben den einen Arm des Kreuzes.

Man tordirt den Draht, lässt ihn los und setzt ein Chronoskop in Gang, wenn der Arm des Kreuzes an dem Stabe in einer Richtung vorbeigeht. Nach einer Anzahl n von Vorübergängen hält man das Chronoskop an und liest die verflossene Zeit z ab.

In der Zeit z sind n ganze Schwingungen und $2n$ halbe Schwingungen ausgeführt worden, es ist also

$$t = \frac{z}{2n}.$$

Der Gang der Uebung geht am besten aus folgendem Beispiel hervor:

1) Wir geben der Anfangsamplitude verschiedene Grössen, die Schwingungsdauern bleiben dieselben, die Schwingungen sind isochron.

2) Wir setzen verschieden grosse Massen $M_1 M_2$ (Gewichte in kg) in demselben Abstande auf und bestimmen die Schwingungsdauern. Dann ist:

$$f_1 = f_2 \text{ und } t_1 : t_2 = \sqrt{M_2/M_1};$$

$$M_1 = 4 \times 0{,}2, \quad \varrho = 3, \quad n_1 = 15, \quad z_1 = 25{,}5 \quad t_1 = 0{,}85;$$
$$M_2 = 4 \times 0{,}3, \quad \varrho = 3, \quad n_2 = 15, \quad z_2 = 31 \quad t_2 = 1{,}03;$$

$$\sqrt{M_1/M_2} = \sqrt{2/3} = 0{,}82, \quad t_1 : t_2 = 0{,}82.$$

Die Schwingungsdauern verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Massen.

3) Wir setzen dieselben Gewichte in die Abstände $\varrho_1 \varrho_2 \ldots$, dann ist:

$$t_1/t_2 = \varrho_1/\varrho_2;$$

$$M_1 = 4 \times 0{,}3, \quad \varrho_1 = 3, \quad n_1 = 15, \quad z_1 = 31, \quad t_1 = 1{,}03;$$
$$M_2 = 4 \times 0{,}3, \quad \varrho_2 = 2, \quad n_2 = 15, \quad z_2 = 21, \quad t_2 = 0{,}7;$$

$$\varrho_1 : \varrho_2 = 1{,}5, \quad t_1 : t_2 = 1{,}48.$$

Die Schwingungsdauern verhalten sich wie die Abstände der Massen von der Drehungsaxe.

4) Wir machen

$$M_1 = M_2, \quad \varrho_1 = \varrho_2,$$

ändern aber die Länge des Drahtes und lassen den Radius gleich, dann ist:

$$t_2 : t_1 = \sqrt{f_1/f_2} = \sqrt{L_2/L_1};$$

$M_1 = 4 \times 0{,}3$, $\varrho = 3$, $L_1 = 500$, $n_1 = 15$, $z_1 = 31$, $t_1 = 1{,}03$;
$M_1 = 4 \times 0{,}3$, $\varrho = 3$, $L_2 = 250$, $n_2 = 15$, $z_2 = 22{,}5$, $t_2 = 0{,}75$;

$$\sqrt{L_1/L_2} = \sqrt{2} = 1{,}41, \quad t_1/t_2 = 1{,}38.$$

Die Schwingungsdauern verhalten sich wie bei den Quadratwurzeln aus den Längen.

5) Wir machen

$$M_1 = M_2 = 4 \times 0{,}3, \quad \varrho_1 = \varrho_2 = 3, \quad L_1 = L_2 = 500,$$

ändern aber den Radius, dann ist:

$$t_2/t_1 = \sqrt{f_1/f_2} = \sqrt{r_1^4/r_2^4} = r_1^2 : r_2^2;$$

$r_1 = 0{,}57$, $n_1 = 6$, $z_1 = 46$, $t_1 = 3{,}83$;
$r_2 = 1{,}1$, $n_2 = 15$, $z_2 = 31$, $t_2 = 1{,}03$;

dann ist:

$$r_1^2 : r_2^2 = 0{,}269, \quad t_2 : t_1 = 0{,}270.$$

Die Schwingungsdauern t_1 und t_2 verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate der Radien.

6) Wir berechnen den Torsionscoëfficienten T.

Nach den Formeln ist:

$$f = \frac{TR^4}{L} = n^2 \frac{Mk^2}{t^2} \text{ und } T = \frac{n^2}{t^2} \frac{L}{R^4} \cdot Mk^2.$$

Bei einem Versuch war für Messing $L = 250$ mm, $R = 1{,}1$ mm, $\varrho = k = 115$ mm, $t = 0{,}75$ sec. M ist die Masse des Gewichts von $4 \times 0{,}3 = 1{,}2$ kg, also wenn wir die beschleunigende Kraft der Schwere zu 10000 mm/sec.^{2} setzen, $M = 1{,}2/10\,000$. Setzen wir dies ein, so wird:

$$T = \frac{(3 \,.\, 1416)^2 \,.\, 250 \,.\, 1{,}2 \,.\, (115)^2}{(0{,}75)^2 \,(1{,}1)^4 \; 10\,000} = 4750.$$

Dies ist nahezu derselbe Werth, wie wir ihn oben, S. 116, bei der statischen Methode erhalten haben.

VIII. Innere Reibung der Flüssigkeiten.

Gebraucht wird: Apparat für Durchfluss, Fig. 120, mit verschiedenen engeren und weiteren, kürzeren und längeren Capillarröhren; verschiedene Flaschen F; Chronoskop; Pyknometer; Lösungen von Chlornatrium (7- und 12 proc.) und Chlorammonium (20- und 40 proc.).

I. Einleitung. Fliesst eine Flüssigkeit aus einer engen Oeffnung am Boden eines Gefässes aus, so ist ihre Geschwindigkeit v unabhängig von der Natur der Flüssigkeit

$$v = \sqrt{2gh},$$

wo h die Druckhöhe bezeichnet (siehe oben). Setzt man an das Gefäss ein langes Rohr, so fliesst die Flüssigkeit durch dasselbe langsamer aus. Die näher der Axe gelegenen, schneller fliessenden Schichten der Flüssigkeit erfahren durch die innere Reibung an den näher der Wand gelegenen, langsamer fliessenden resp. ruhenden Schichten eine Verzögerung; durch diese Reibung wird die unter bestimmtem Drucke durch ein Rohr fliessende Flüssigkeitsmenge bestimmt. Die Reibung selbst hängt ab von den Dimensionen (Länge und Radius) des Rohres und der Natur der Flüssigkeit. Ist das Rohr im Verhältniss zu seiner Länge sehr eng, hat es einen kreisförmigen Querschnitt von dem Radius r, die Länge l, ist der Druck p, so ist in erster Annäherung das während der Zeit z ausfliessende Flüssigkeitsvolumen V

$$V = \frac{\pi}{8\eta} \frac{p r^4}{l} z \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Dies Volumen ist direct proportional der vierten Potenz des Radius, bei einem doppelt so weiten Rohre also 16 mal so gross, umgekehrt proportional der Länge und umgekehrt proportional einer Constanten η.

η heisst der innere Reibungs- oder Viscositätscoëfficient, $1/\eta$ heisst der Fluiditätscoëfficient.

Es ist:

$$\eta = \frac{\pi p r^4}{8 V l} z \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)^1)$$

---

1) Fliesst die Flüssigkeit durch ein weiteres oder kürzeres Rohr, also relativ schneller aus, so wird:

$$\eta = \frac{\pi p r^4}{8 V l} z - \frac{s P V}{2 \frac{10}{3} \pi l g} \cdot \frac{1}{z},$$

wo P das Gewicht der Volumeneinheit Wasser, s das specifische Gewicht der Flüssigkeit ist. Bei genauen Messungen ist diese Formel zu benutzen.

Stellen wir alle Versuche mit demselben Rohre an, lassen stets dasselbe Volumen V ausfliessen, und bleibt der Druck p der gleiche, so ist:

$$\eta = a \,.\, z,$$

wo a eine Constante bedeutet.

Bestimmen wir mit derselben Röhre für dasselbe Volumen bei demselben Druck die Ausflusszeiten z_1 und z_2 bei zwei Flüssigkeiten mit den Reibungscoëfficienten η_1 und η_2, so ist:

$$\eta_1 : \eta_2 = z_1 : z_2.$$

Kennt man etwa den Reibungscoëfficienten η_1 für die eine der beiden Flüssigkeiten, so ergiebt sich aus einer solchen Bestimmung η_2, es ist:

$$\eta_2 = \frac{\eta_1 z_2}{z_1}.$$

Als specifischen Reibungscoëfficienten bezeichnet man die Zeit, die eine Flüssigkeit braucht, um durch eine Capillarröhre zu fliessen, wenn ein gleiches Volumen Wasser von bestimmter Temperatur durch dieselbe Röhre in der Zeit 1 fliesst.

II. Apparat. Der zu den Durchflussversuchen dienende Apparat hat die in der Figur 68 angegebene Gestalt.

Fig. 68.

An das untere Ende einer verticalen Capillarröhre ab ist eine weitere Röhre be angesetzt, an das obere Ende eine Kugel K angeblasen, an die selbst wieder ein weiteres Glasrohr cd angesetzt ist, das unmittelbar oberhalb K bei c etwas verengt ist. Ueber das Ende d wird ein

Kautschukschlauch l geschoben, der dasselbe mit einer Glasröhre g_1 verbindet, die in das Innere der Flasche D reicht; an einer anderen Röhre, die durch den D verschliessenden Kork geht, ist ein Hahn g_2 angeschmolzen, der mit einem Kautschukschlauche l_1 verbunden ist. Unter das Ende e der Röhre be kann man eine kleine Glasflasche F setzen, die auf einem Tischchen T steht, das man hoch und niedrig stellen kann.

Die Capillarröhre selbst befindet sich in einem rechteckigen Messingkasten (Höhe 34 cm, Seite der Basis 14 cm), in dessen Vorder- und Hinterwand 6,7 cm breite Fenster eingesetzt sind. Die Röhre de wird in einem am Boden befindlichen Tubulus mittelst eines Kautschukstöpsels befestigt. Auf das Messinggefäss ist ein Deckel aufgesetzt, in welchem sich drei Löcher für das Rohr cd und die einen Rührer r tragenden Stäbe und zwei Tubuli befinden; in den einen wird das Thermometer eingesetzt, der andere dient zum Eingiessen von kaltem oder heissem Wasser. Neben dem Tischchen T steht ein Messingstab, auf dem sich ein horizontaler Zeiger Z auf und nieder schieben lässt. Die zu untersuchenden Lösungen werden alle in gleich weite Flaschen gegossen.

III. **Uebung 1.** Die Gesetze über die Ausflusszeiten werden für destillirtes Wasser mit verschieden weiten und verschieden langen Röhren geprüft, die in den Kork eingesetzt werden. Die Längen der Röhren werden an einem Maassstabe gemessen, die Radien derselben und das Volumen der Kugeln durch Auswägen mit Quecksilber bestimmt (S. 52).

1) Man filtrirt die zu untersuchende Flüssigkeit sorgfältig in eine der Flaschen F; es darf dieselbe keinen Staub etc. enthalten, da dieser sich sonst in den Capillarröhren festsetzen könnte und dadurch die Ausflusszeit vergrössern.

2) Man stellt die Flasche auf den Tisch und hebt und senkt denselben, bis der obere Rand der Flüssigkeit mit dem Zeiger Z zusammenfällt.

3) Man saugt am Schlauch l_1, schliesst den Hahn g_2, lässt die Flüssigkeiten in die Höhe steigen bis etwa nach m.

4) Man nimmt das Chronoskop in die Hand, öffnet den Hahn g_2, lässt das Chronoskop in dem Moment angehen, in dem die Flüssigkeitsoberfläche bei der Verengung bei c vorbeigeht und hält es wieder an, wenn sie an a vorbeigeht. Man liest die Zeit ab, die dazu nöthig ist, sie sei z.

Uebung 2. Die Reibung verschiedener Flüssigkeiten wird untersucht.

1) Man lässt bei der Untersuchung wässeriger Lösungen zuerst alles Wasser ausfliessen, spült dann mit der verdünntesten Lösung des Salzes durch etwa zweimaliges Einsaugen und Ausfliessenlassen die Röhre mit derselben aus, ehe man eine Messung anstellt, dann nimmt man die nächst concentrirte Lösung und so fort. Zwischen der Untersuchung von Lösungen verschiedener Salze spült man mit destillirtem Wasser aus.

Die übrigen Beobachtungen sind wie bei Uebung 1 von 1 bis 4; dazu kommt noch:

2) Man bestimmt das specifische Gewicht der untersuchten Flüssigkeit mit dem Pyknometer.

Berechnung. Bei unserem Apparat sind die Drucke p während eines jeden Versuches veränderlich, sie sind gleich der Höhe der Flüssigkeitssäule im Capillarrohr über dem Niveau derselben in der Flasche F, multiplicirt mit dem specifischen Gewichte der Flüssigkeit. Sie ändern sich aber für alle Substanzen in entsprechender Weise während des Ausfliessens; ist c eine Constante, so ist:

$$p = c.s.$$

Ist aber bei den Versuchen mit verschiedenen Flüssigkeiten der Druck p verschieden, so folgt aus Gleichung 2):

$$\eta = bzp,$$

wo b eine Constante ist. Also:

$$\eta = b.c.s.z,$$

oder der Reibungscoëfficient ist proportional dem Product aus specifischem Gewicht und Ausflusszeit.

Stellt man Beobachtungen an zwei verschiedenen Flüssigkeiten mit derselben Röhre an, so ist:

$$\eta_1 : \eta_2 = s_1 z_1 : s_2 z_2.$$

Die Uebung wird je zwei- bis dreimal ausgeführt:

a) bei mittlerer Temperatur (t) 1) mit Wasser, 2) mit einer ca. 7 procentigen und einer concentrirteren Chlornatriumlösung; 3) mit einer 20- und einer 40 procentigen Ammoniumnitratlösung;

b) bei ca. 30 bis 40° für dieselben Lösungen.

Beispiel:

		Wasser	NaCl		NH_4NO_3	
			ca. 7 Proc.	ca. 12 Proc.	ca. 20 Proc.	ca. 40 Proc.
	s	1	1,051	1,090	1,085	1,179
$t = 14{,}5$	z	252	266	284	212	222
	$z.s$	252	280	310	230	262
$t = 35$	z	164	176	191	151	166
	$z.s$	164	185	208	164	196

Aus den Versuchen mit diesen Lösungen ergiebt sich:

1) Bei beiden Substanzen nimmt mit zunehmender Temperatur die Reibung ab, also die Fluidität zu.

2) Chlornatriumlösungen besitzen eine um so grössere Zähigkeit, je concentrirter sie sind. Bei Ammoniumnitratlösungen nimmt die Zähigkeit bis zu einer bestimmten Concentration ab, ist also kleiner als die des reinen Wassers, um dann wieder zuzunehmen. Bei höheren Temperaturen liegt das Minimum bei geringeren Concentrationen und ist viel weniger ausgesprochen.

IV. Allgemeines. Die Reibung der Flüssigkeiten nimmt mit der Temperatur ab, ihre Abhängigkeit lässt sich darstellen durch die Formel:

$$\eta = A \frac{t_0 - t}{t - t_1}.$$

Hier sind A und t_1 Constanten für jede Flüssigkeit, t_0 ist die kritische Temperatur und t die Beobachtungstemperatur. Die Formel ist zunächst für ungemischte Flüssigkeiten mit gutem Erfolge geprüft worden.

Setzt man zu irgend einer Flüssigkeit eine andere, so ändert sich der Reibungscoëfficient, und zwar in einer noch nicht zu berechnenden Weise, die sich bisher auch noch nicht hat theoretisch ableiten lassen.

Besonders eingehend ist das Verhalten der Salzlösungen untersucht worden, theils um die innere Reibung selbst kennen zu lernen, theils auch wegen ihrer Beziehungen zu der elektrischen Leitungsfähigkeit.

Vor Allem ist zu beachten, dass ein steigender Zusatz einer Substanz den inneren Reibungscoëfficienten η resp. dessen reciproken Werth, die Fluidität $f = 1/\eta$, durchaus nicht stets in demselben Sinne ändert, sondern dass Maxima und Minima eintreten.

In Bezug auf den Einfluss der Temperatur und der Concentration lassen sich die untersuchten Salze in zwei Gruppen theilen.

1. Zu der ersten gehören: Chlorkalium, Bromkalium, Jodkalium, Kaliumnitrat, Kaliumchlorat, Chlorammonium, Bromammonium, Jodammonium, Ammoniumnitrat, Baryumnitrat.

Bei dieser ersten Gruppe vermindert bei niedrigen Temperaturen und erhöht bei höheren Temperaturen das gelöste Salz die Zähigkeit des Wassers und zwar ersteres um so mehr, je concentrirter die Lösung ist; ferner ist die Temperatur, bei der Wasser- und Salzlösung gleiche Zähigkeit zeigen, um so höher, je geringer die Concentration der Lösung ist. Stellt man graphisch die Abhängigkeit der Zähigkeit von der Concentration dar, so sind alle Curven nach unten convex, die Minima der Zähigkeiten entsprechen bei 0^0 der schwächsten, bei hoher Temperatur der stärksten Concentration. Bei zwischenliegenden Temperaturen zeigt sich aber ein Minimum, das um so concentrirteren Lösungen entspricht, je niedriger die Temperatur ist. Bei zunehmendem Salzzusatz sinkt also zunächst die Zähigkeit, um dann wieder zu steigen.

Aus dieser Verschiebung der Zähigkeitsminima mit der Temperatur folgt, dass dieselben nicht bestimmten fertig gebildeten Hydraten entsprechen, wenn sie auch mit der Existenz derselben zusammenhängen mögen.

2. Zu der zweiten gehören: Kaliumsulfat, Chlornatrium, Bromnatrium, Jodnatrium, Natriumnitrat, Natriumchlorat, Natriumsulfat, Ammoniumsulfat, Chlorbaryum, Chlorstrontium, Chlorcalcium, Chlorlithium, Magnesiumsulfat, die Salze der Schwermetalle und viele andere.

Bei diesen ist innerhalb der Temperaturgrenzen 0^0 und 60^0 die Reibung stets grösser als die des Wassers, und es zeigt sich bei einer

genaueren Discussion, dass meist auf sie die Temperaturerhöhungen einen geringeren Einfluss als auf das Wasser ausüben.

Ein Maximum der Zähigkeit zeigt sich bei Schwefelsäure, Salpetersäure, Essigsäure und deren Homologen; auch hier sind die Concentrationen, bei denen die Maxima auftreten, von der Temperatur abhängig, sie können also nicht bestimmten Hydraten entsprechen.

Allgemeinere Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung und Reibungscoëfficient haben bei ungemischten Flüssigkeiten sich noch kaum ergeben.

Wir führen nur folgende an:

Isomere Ester haben nahe gleiche Reibungscoëfficienten; beim Aufsteigen in homologen Reihen wächst die Reibung, ebenso wenn man H durch Cl, Br, J, NO_2 ersetzt, und zwar beim Cl am wenigsten, bei NO_2 am meisten.

IX. Capillarität.

Gebraucht wird: Apparat Figur 70 und Kathetometer.

Bei der Berührung eines festen Körpers mit einem flüssigen können eine Reihe verschiedener Erscheinungen eintreten, je nachdem die Anziehung zwischen den Molecülen des festen und flüssigen Körpers, die Adhäsion, grösser oder kleiner ist, als die Anziehungen zwischen den Molecülen des festen Körpers allein und denen des flüssigen allein, d. h. ihre Cohäsion. Im Folgenden sind die hierbei möglichen Fälle zusammengestellt:

I. Die Cohäsion des festen Körpers ist kleiner als die Adhäsion.

a) Die Adhäsion ist kleiner als die Cohäsion der Flüssigkeit: der feste Körper zerfällt (Schlämmkreide in Wasser). b) Die Adhäsion ist grösser als die Cohäsion der Flüssigkeit: es tritt eine Lösung ein.

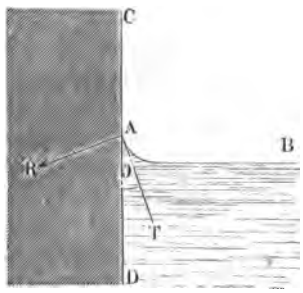
II. Die Cohäsion des festen Körpers ist grösser als die Adhäsion: der feste Körper bleibt in der Flüssigkeit unverändert.

a) Die Adhäsion ist kleiner als die Cohäsion der Flüssigkeit: es tritt keine Benetzung ein. b) Die Adhäsion ist grösser als die Cohäsion der Flüssigkeit: es tritt Benetzung ein.

Im Folgenden betrachten wir die Fälle unter II., bei denen die sogenannten Capillaritätsphänomene auftreten.

Um die Capillaritätsphänomene zu erklären, stellen wir folgende, freilich nicht ganz strenge Betrachtung an (Fig. 69). AB sei die Oberfläche einer Flüssigkeit, CD die verticale Wand eines festen Körpers. Für ein im Punkte A gelegenes Theilchen können wir annehmen, dass die folgenden Kräfte, die jeweilig um 45^0 gegen die Horizontale geneigt sind, wirken: Eine Kraft P, die nach dem Inneren der Flüssigkeit wirkt, und zwei Kräfte Q, die einander gleich sind, und schräg nach oben und unten nach dem Inneren des festen Körpers gerichtet sind. Die verticalen Componenten dieser letzteren heben sich auf, die horizontalen addiren sich algebraisch zu der horizontalen von P, nämlich $P.cos\,45^0$, so dass die ganze horizontale Kraft $= (2\,Q - P)\,cos\,45^0$, die ganze verticale $= P.cos\,45^0$ wird.

Fig. 69.



Je nachdem $(2Q - P) \gtrless 0$ ist, benetzt die Flüssigkeit den festen Körper oder nicht. Im ersten Falle steigt sie am festen Körper in die Höhe, im zweiten nicht; denn dann steht in beiden Fällen die freie Oberfläche der Flüssigkeit senkrecht zu den Resultanten aller Kräfte, wie dies im Gleichgewichtszustande derselben sein muss. Nimmt aber die erste an der Wand anliegende Schicht eine gekrümmte Lage an, so ist dies auch für die ihr benachbarten, wenn auch in abnehmendem Maasse, der Fall. Durch die Grösse der Krümmung sind die Capillaritätsphänomene bedingt.

Aus dem Obigen geht hervor, dass die bei der Berührung zwischen festen und flüssigen Körpern auftretenden Erscheinungen von zwei Grössen abhängen, die eine α ist allein durch die Eigenschaften der Flüssigkeit bedingt, die andere ε dagegen durch die Wechselwirkung zwischen Flüssigkeit und festem Körper. Durch ε und α ist der Winkel φ bestimmt, unter dem das an die Wand grenzende Stück der Flüssigkeitsoberfläche gegen diese geneigt ist, der sogenannte Randwinkel; es ist $\cos\varphi = \varepsilon/2\alpha$. Bei benetzenden Flüssigkeiten ist $\varphi < 90$, $\cos\varphi$ positiv, bei nicht benetzenden ist $\varphi > 90$, also $\cos\varphi$ negativ. Benetzt die Flüssigkeit die Wand „vollkommen", so ist $\varphi = 90^0$, $\cos\varphi = 1$, $\varepsilon = 2\alpha$; wir brauchen nur eine Constante in die Betrachtungen einzuführen. Für vollkommen benetzende Flüssigkeiten gilt der Satz:

Die Capillaritätsconstante α ist das Flüssigkeitsgewicht, welches von der Einheit der Länge der Schnittlinie der Flüssigkeitsoberfläche mit dem festen Körper an der Platte getragen wird.

Besonders wichtig sind diejenigen Erscheinungen, welche eintreten, wenn statt einer Wand eine enge Röhre, Haarröhrchen, Capillarrohr in die Flüssigkeit taucht. Eine die Röhre benetzende Flüssigkeit steigt in der Röhre über das Niveau derselben in die Höhe, eine sie nicht benetzende sinkt unter dasselbe hinab, und zwar um so mehr, je enger das Rohr. Die Oberfläche der Flüssigkeit im Rohre, der Meniscus, ist im ersten Falle concav (Wasser), im zweiten Falle convex (Quecksilber).

Bestimmung der Capillaritätsconstante durch Steighöhen.

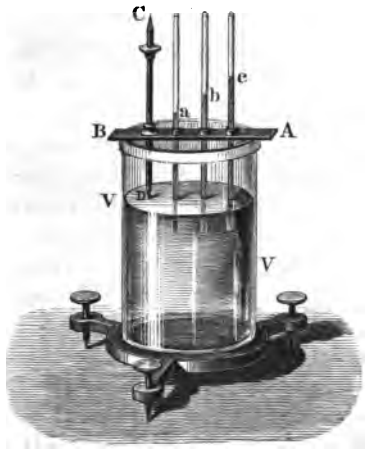
I. Princip. Taucht ein Capillarrohr vom Radius r in eine das Glas vollkommen benetzende Flüssigkeit von dem specifischen Gewicht s, so steigt die Flüssigkeit darin über den Spiegel der umgebenden Flüssigkeit empor. Ist h diese Steighöhe, so wird auf diese Weise von den Capillarkräften ein Flüssigkeitsgewicht $h\pi r^2 s$ über dem Flüssigkeitsniveau gehalten. Die Länge des Röhrenumfanges ist $2\pi r$, also ist das von der Längeneinheit der Glasfläche getragene Gewicht

$$\alpha = \frac{h\pi r^2 s}{2\pi r} = \frac{1}{2} r h s.$$

Die Steighöhe $h = \frac{2\alpha}{rs}$ ist umgekehrt proportional dem Radius der Röhre.

II. Apparat (Fig. 70). Auf das durch Fussschrauben vertical zu stellende, bis über die Hälfte mit einer Flüssigkeit gefüllte Gefäss VV wird ein Metallstreifen BA gelegt, der drei verschieden weite Capillarröhren a, b, c trägt. Durch eine gleichfalls auf BA befestigte Mutter ist der mit einem feinen Gewinde und zwei Spitzen versehene Stab CD geschraubt. Man schraubt die Spitze D bis an die Flüssigkeitsoberfläche D heran und misst die Länge CD, dann werden die Steighöhen in a, b, c dadurch ermittelt, dass man mit dem Kathetometer die verticalen Abstände der Spitze C und der Kuppen misst.

Fig. 70.



Uebung. 1) Man füllt das Gefäss V mit Wasser und legt auf seinen Rand eine Glasplatte, setzt darauf eine Dosenlibelle und stellt das Gefäss so, dass die Luftblase derselben einspielt.

2) Man legt den Metallstreifen BA mit den sorgfältig gereinigten Capillarröhren auf, schiebt über die oberen Enden der Röhren einen Gummischlauch, saugt das Wasser einige Male in ihnen in die Höhe und stellt die Spitze D auf die Oberfläche scharf ein.

3) Man misst mit dem Kathetometer (vergl. S. 15) die Höhendifferenz zwischen C und a ($= h_1'$), C und b ($= h_2'$), C und c ($= h_3'$).

4) Man schraubt CD um ca. 1 cm in die Höhe und misst den Abstand H zwischen C und D.

5) Man nimmt die Capillarröhren aus dem Träger, reinigt und trocknet sie durch Durchsaugen von reinem Wasser, Alkohol, Aether und trockener Luft und calibrirt sie nach den S. 52 gegebenen Vorschriften durch Auswägen mit Quecksilber.

Es mögen sich die Radien gleich r_1, r_2, r_3 ergeben.

Dann sind die Steighöhen:

$$h_1 = H - h_1', \quad h_2 = H - h_2', \quad h_3 = H - h_3'$$

und es ist

$$\frac{1}{2} h_1 r_1 = \frac{1}{2} h_2 r_2 = \frac{1}{2} h_3 r_3 = \alpha.$$

X. Bestimmung der Länge der Schallwellen.

Gebraucht wird: Interferenzrohr; Kundt'sches Rohr; König'sche Kapsel; Glasstäbe, deren Longitudinaltöne einen Dur-Accord geben; Korkfeilicht; wollener Lappen; Centimeterstab.

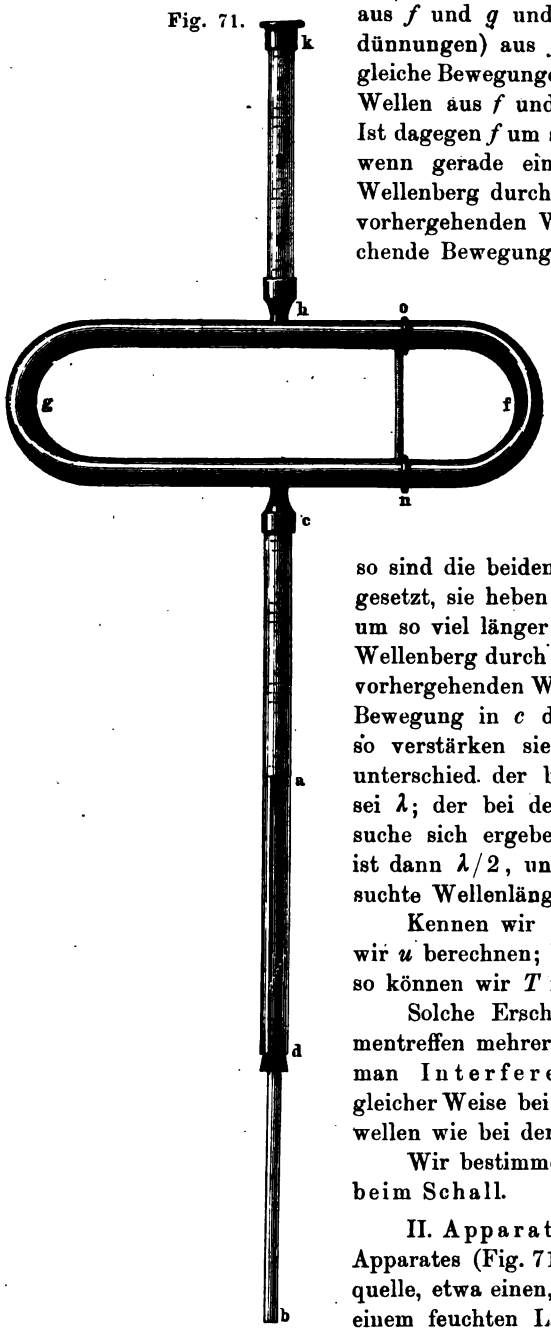
Einleitung. Schwingt ein fester Körper, so verdichtet und verdünnt er abwechselnd die ihn umgebende Luft. Diese Verdichtungen und Verdünnungen schreiten durch die Luft fort, so dass in jeder Richtung an jeder Stelle Verdichtungen und Verdünnungen auf einander folgen. Sie bilden longitudinale Wellen. Man kann dieselben mit den auf einander folgenden Wellenbergen und Wellenthälern bei der Auf- und Abbewegung der Wassertheilchen der transversalen Wasserwellen parallelisiren. — Treffen diese Schwingungen der Luft das Ohr in bestimmter Anzahl in der Zeiteinheit, so erzeugen sie die Empfindung des Tones. Die Zahl der Impulse in der Zeiteinheit, d. h. die Schwingungszahl ε des tönenden Körpers bestimmt die Tonhöhe. $T = 1/\varepsilon$ ist dann die Dauer einer Schwingung, die Schwingungsdauer, d. h. die Zeit eines Hin- und Herganges des schwingenden Theilchens (vergl. Pendel). Die Bewegung schreitet während einer Schwingung um die Wellenlänge λ, d. h. um den Abstand zwischen zwei auf einander folgenden Wellenbergen oder Wellenthälern, maximalen Verdichtungen oder maximalen Verdünnungen, fort. Ist u die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, d. h. der Weg, den die Wellen in einer Secunde zurücklegen, so ist:

$$\lambda = u\,T = \frac{u}{\varepsilon}, \qquad T = \frac{\lambda}{u}, \qquad u = \varepsilon\lambda.$$

Zur Bestimmung der Wellenlänge bedienen wir uns der Interferenz der Schallwellen.

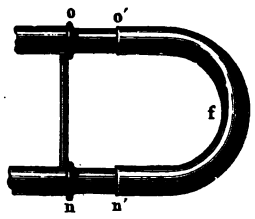
I. Princip der Interferenz. Wird ein und dasselbe Gas- oder Wassertheilchen von zwei schwingenden Bewegungen ergriffen, gehen über dasselbe zwei Wellenzüge hin, so verstärken oder schwächen sich dieselben. Gabelt sich z. B. ein Rohr dc bei c in zwei (g und f) sich nachher bei h wieder zu hk vereinigende Röhren, und geht durch das Rohr ac ein Wellenzug, so gestalten sich die Verhältnisse in hk verschieden, je nach der Länge der Zweige f und g (Fig. 71). Sind beide Zweige gleich lang, so treffen gleichzeitig in h stets die Wellenberge (Verdichtungen)

Fig. 71.



aus f und g und die Wellenthäler (Verdünnungen) aus f und g oder allgemein gleiche Bewegungen zusammen; die beiden Wellen aus f und g verstärken sich also. Ist dagegen f um so viel länger als g, dass, wenn gerade ein von c ausgegangener Wellenberg durch f in h anlangt, die dem vorhergehenden Wellenthal in c entsprechende Bewegung durch g in h anlangt,

Fig. 72.



so sind die beiden Bewegungen entgegengesetzt, sie heben sich auf; ist f dagegen um so viel länger, dass, wenn gerade ein Wellenberg durch g in h anlangt, die dem vorhergehenden Wellenberg entsprechende Bewegung in c durch f in h ankommt, so verstärken sie sich. Dieser Längenunterschied der beiden Canäle f und g sei λ; der bei dem vorhergehenden Versuche sich ergebende Längenunterschied ist dann $\lambda/2$, und zwar stellt λ die gesuchte Wellenlänge dar.

Kennen wir 1) λ und T, so können wir u berechnen; kennen wir 2) λ und u, so können wir T finden.

Solche Erscheinungen beim Zusammentreffen mehrerer Wellensysteme nennt man Interferenzen; sie treten in gleicher Weise bei den Schall- und Lichtwellen wie bei den Wasserwellen auf.

Wir bestimmen die Wellenlänge λ beim Schall.

II. Apparat. Vor das Rohr cd des Apparates (Fig. 71) stellt man eine Tonquelle, etwa einen, durch loses Reiben mit einem feuchten Lappen in Longitudinal-

schwingungen versetzten Stab ab, der an seinem Ende a einen Kork trägt und in der Mitte bei d festgeklemmt ist. Mit h verbindet man entweder ein Rohr hk, in dem sich Korkfeile befinden, oder einen Schlauch, der zu einer König'schen Kapsel mit Gasflamme führt.

Das Rohr f kann durch Ausziehen verlängert werden, indem es die aus Fig. 72 (a. v. S.) ersichtliche Construction besitzt; auf dem festen Stück ist eine Millimetertheilung angebracht.

Uebung. 1) Man streicht den Stab und sieht, wie bei vollkommen zusammengestossenen Röhren die Flamme lebhaft flackert, eventuell ausgeblasen wird (die Korkfeile sich lebhaft bewegen), wie sie dann beim Ausziehen ruhiger wird, bis sie zuletzt gar nicht schwankt; bei weiterem Ausziehen kommt sie wieder in lebhafte Bewegung, dann zur Ruhe etc.

2) Man misst die Strecke, um die man das Rohr ausziehen muss, damit Ruhe eintritt, dieselbe giebt verdoppelt den Zuwachs an Weg, welcher nöthig ist, damit die Schwingungsbewegung auf der einen Strecke $^1/_2\,\lambda$ mehr durchlaufen muss als auf der anderen. Dann misst man die Strecke, bei der bei weiterem Ausziehen wieder Ruhe eintritt, dieselbe giebt verdoppelt $^3/_2\,\lambda$ u. s. f.

Die Versuche werden in folgender Weise zur Bestimmung von u und T benutzt:

a) Die Tonhöhe des Stabes, d. h. die Anzahl der Schwingungen in der Secunde, und damit auch die Schwingungsdauer T, sind gegeben, dann erhält man aus dem beobachteten Werthe $^1/_2\,\lambda$ die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles u.

b) Man nimmt andere Stäbe mit Schwingungsdauern T_1 und bestimmt $^1/_2\lambda_1$, dann erhält man

$$T_1 = \frac{\lambda_1}{u}.$$

Allgemeines. Aus den Versuchen mit vier Stäben, deren Longitudinaltöne einen Dur-Accord liefern, ergiebt sich, dass bei ihnen die Wellenlängen sich wie

$$30 : 24 : 20 : 15$$

verhalten, also die Schwingungszahlen wie $15 : 20 : 24 : 30$. Gleichzeitig hört unser Ohr, dass die Stäbe einen Dur-Accord geben; die Schwingungszahlen, welche den Tönen entsprechen, die denselben zusammensetzen, stehen also in dem obigen einfachen Verhältnisse von 3:4, 2:3, 1:2.

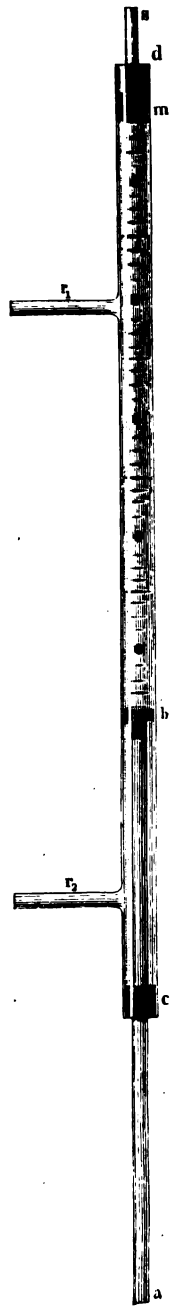
XI. Bestimmung der Schallgeschwindigkeit.

Gebraucht wird: Kundt'sche Röhren mit Glasstäben, Wolllappen und Korkfeilicht; Bruchstücke von einem der Glasstäbe; Pyknometer; Waage; Gewichte; Kipp'scher Apparat zur Entwickelung von Kohlensäure.

I. Princip. Werden Luftwellen an dem einen Ende einer am anderen Ende durch eine ebene Wand geschlossenen Röhre erregt, so werden sie an der ebenen Wand der Röhre reflectirt. Bei einem bestimmten Verhältnisse der Röhrenlänge zu der Wellenlänge setzen sich die zurückkehrenden reflectirten Luftwellen mit den ankommenden so zusammen, dass alle einzelnen Luftschichten der Röhre sich gleichzeitig in entsprechenden Schwingungszuständen befinden, z. B. gleichzeitig durch die Ruhelage gehen und gleichzeitig die maximale Elongation erreichen, die Grösse dieser Elongation ist aber von Ort zu Ort verschieden. Wir erhalten hierbei stehende Schwingungen. Man unterscheidet Stellen, an denen die Lufttheilchen in lebhafter Bewegung sind: Schwingungsbäuche, und solche, wo dieselben vollständig in Ruhe bleiben: Schwingungsknoten; in den Knoten sind dagegen die Druckänderungen am grössten, während sie in den Bäuchen Null sind; am Ende der Röhre befindet sich immer ein Knoten. In den je durch einen Knoten getrennten Theilen der Röhre finden die Bewegungen im entgegengesetzten Sinne statt.

II. Apparat. Die stehenden horizontalen Luftschwingungen erzeugt man in einer etwa 2 cm weiten, 130 cm langen Glasröhre cd, Fig. 73 (a. f. S.), welche durch die Stopfen c und m geschlossen ist. In c ist der Glasstab ab so befestigt, dass $ac = cb$. Reibt man den Glasstab ac leicht mit einem feuchten wollenen Lappen, so geräth derselbe in Längsschwingungen und giebt einen seiner Länge entsprechenden Eigenton von der Schwingungszahl z. Die Schwingungen desselben werden durch den in der Röhre leicht beweglichen Kork b, der an dem Ende des Glasstabes befestigt ist, auf die zwischen bm enthaltene Luftsäule übertragen. Man macht sie durch eingestreute feine Korkfeile oder besser durch Kieselguhr sichtbar. An den Schwingungsbäuchen werden die leicht beweglichen Theilchen durch die stark bewegte Luft zu feinen Rippen zusammengefegt, an den Knoten bleiben sie ruhig liegen, wodurch sich eine in der Figur angedeutete Streifung ergiebt. Durch Einschieben oder Ausziehen des Korkes m mit Hülfe des an ihm befestigten Glasstabes s regulirt man

Fig. 73.



die Länge der schwingenden Luftsäule so, dass die „Staubfiguren" möglichst scharf werden. Der Abstand l zweier auf einander folgender Knoten von einander ist gleich der halben Länge einer Luftwelle, $l = {}^1/_2 \lambda$. Die seitlich angesetzten Röhren r_1 und r_2 dienen zum Füllen der Röhre mit verschiedenen Gasen. Die ganze Vorrichtung heisst Kundt'sche Röhre.

III. **Uebung.** 1. Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in Luft. 1) Man setzt bei c einen Glasstab ein, von dessen Longitudinalton die Tonhöhe, und also auch die Schwingungszahl z bekannt ist.

2) Man erzeugt den Ton, giebt der Luftsäule durch Ein- oder Ausziehen des Korkes m eine solche Länge, dass sich die Schwingungsfiguren möglichst scharf umbilden und bestimmt die Länge Λ einer gewissen Anzahl n von Knotenabständen l.

$$\text{Dann ist: } l = \frac{\Lambda}{n}, \quad \lambda = 2l \quad \text{und} \quad u = z\lambda.$$

Beispiel: $z = 3750$, $n = 20$, $\Lambda = 88{,}4$ cm. Also $l = 4{,}42$ cm, $\lambda = 8{,}84$, $u = 33\,150$ cm $= 331{,}5$ m. Temperatur $t = 19{,}5^0$.

Bemerkung. In trockener atmosphärischer Luft ist bei 0^0 C. die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles gleich 330 m, in Luft von der Temperatur t^0 ist $u = 330\sqrt{1 + 0{,}00367\,t}$.

2. Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit U des Schalles im Glase.

Princip. Bei den in der Luft erzeugten stehenden Wellen ist der Abstand l zweier Bäuche oder zweier Knoten l gleich der halben Länge λ der in Luft erzeugten Schallwelle; es ist $\lambda = 2l$. Bringt man einen in der Mitte festgeklemmten Glasstab durch Streichen seiner Länge nach zum Tönen, so ist in ihm eine stehende periodische Längsschwingung vorhanden; dieselbe hat ihren Knoten in der Mitte des Stabes, wo derselbe befestigt ist, an beiden Enden befinden sich Bäuche; die Länge der Schallwelle im Glase ist also gleich der doppelten Länge des Stabes $= 2L$. Ist also L die Länge eines Glasstabes, der bei einer Kundt'schen Röhre zur Erzeugung von Tönen und Schwingungsfiguren dient, l der Abstand

zweier Knoten in der Kundt'schen Röhre bei Erzeugung des Longitudinaltones des Stabes, so ist einerseits in Luft $u = z\,2l$ und andererseits im Stabe $U = z\,2L$, also ist $U : u = L : l$ oder die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles im Glase

$$U = 330\sqrt{1 + 0{,}00367\,t}\,\frac{L}{l}\text{ m}.$$

Uebung. 1) Man verfährt wie unter I. und bestimmt für zwei Glasstäbe $l_1 = \frac{\Lambda_1}{n_1}$ und $l_2 = \frac{\Lambda_2}{n_2}$.

2) Man misst die Längen beider Stäbe L_1 und L_2.

Beispiel: $\Lambda_1 = 89{,}5$ cm, $n_1 = 20$, $l_1 = 4{,}475$ cm; $\Lambda_2 = 69{,}5$, $n_2 = 12$, $l_2 = 5{,}792$; $L_1 = 68{,}0$, $L_2 = 89{,}5$; $t = 19{,}5^0$, $U_1 = 5211$, $U_2 = 5298$ m; also circa 16 mal grösser als in Luft.

3. Bestimmung des Elasticitätsmoduls durch die Schallgeschwindigkeit.

Ist U die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in einem Körper von dem specifischen Gewichte s, so ist der Elasticitätsmodul (siehe S. 108) der Substanz

$$E = \frac{U^2 s}{g},$$

wo g die Beschleunigung durch die Schwere in Millimetern $= 9810$ ist. E wird, wenn U in Metern gegeben ist und s auf Wasser bezogen wird, in Kilogrammen erhalten für einen Stab von einem Quadratmillimeter Querschnitt.

Uebung. 1) Man bestimmt wie unter II. die Grösse U für Glas.

2) Man bestimmt nach der Methode S. 60 das specifische Gewicht des benutzten Glases mit einem Stückchen des Glasstabes, von dem der benutzte geschnitten ist.

Beispiel: $U = 5298$, $s = 2{,}201$; also $E = 6295$ kgqmm.

IV. Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in Kohlensäure.

Uebung. 1) Man lässt aus dem Kipp'schen Apparate Kohlensäure, die man durch Wasser und Schwefelsäure leitet, durch das Rohr r_1 ein- und aus dem Rohre r_2 ausströmen.

2) Man bestimmt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles wie in I.

Beispiel: $z = 3750$, $n = 20$, $\Lambda = 70{,}2$ cm; also $\lambda = 7{,}02$ cm, $u = 26\,325$ cm $= 263{,}25$ m. Temperatur $17{,}8^0$.

B. Wärme.

I. Ausdehnung der Körper.

Einleitung.

Erwärmen wir einen Körper, so ändern sich seine linearen Dimensionen und sein Volumen.

Der lineare Ausdehnungscoëfficient β ist die Aenderung der Längeneinheit bei 0^0 für die Temperaturänderung von 1^0.

Der Ausdehnungscoëfficient nimmt meist mit der Temperatur zu. Unter dem mittleren linearen Ausdehnungscoëfficienten zwischen 0^0 und t^0 versteht man die Aenderung der Längeneinheit für 1^0, unter der Voraussetzung, dass die Ausdehnung in dem ganzen Temperaturintervall zwischen 0^0 und t^0 gleichmässig stattfindet.

Aendert sich also die Länge eines Stabes von der Länge l bei 0^0 bei einer Temperaturänderung von t^0 um λ, so ist für ihn der mittlere lineare Ausdehnungscoëfficient:

$$\beta_l = \frac{\lambda}{l \cdot t}.$$

Der cubische Ausdehnungscoëfficient ist die Aenderung der Volumeneinheit bei 0^0 für die Temperaturänderung 1^0. Ist β_l für einen Körper der lineare, so ist sehr nahe der cubische Ausdehnungscoëfficient:

$$\beta_c = 3\,\beta_l.$$

Ein Würfel mit den Kanten von der Länge 1 bei 0^0 hat das Volumen:

$$V_0 = 1^3 = 1.$$

Jede der Kanten wird bei der Erwärmung um 1^0 zu $1 + \beta$, das Volumen des Würfels also:

$$V_1 = (1 + \beta)^3 = 1 + 3\beta + 3\beta^2 + \beta^3.$$

Die Volumenänderung ist daher:

$$V_1 - V_0 = 3\beta + 3\beta^2 + \beta^3.$$

Angenähert ist für feste Körper:

$$\beta_l = \frac{1}{100\,000} = 10^{-5}$$

und die Volumenänderung wird $3 \cdot 10^{-5} + 3 \cdot 10^{-10} + 10^{-15}$. Wir können das zweite und dritte Glied gegen das erste vernachlässigen und erhalten so den cubischen Ausdehnungscoëfficienten:

$$\beta_c = 3\,\beta_l.$$

Ist s_0 das specifische Gewicht des Körpers bei 0^0, s_t bei t^0, so ist, da das Volumen Eins bei 0^0 auf $1 + \beta_c t$ bei t^0 wächst:

$$s_t = \frac{s_0}{1 + \beta_c t} \qquad \beta_c = \frac{s_o - s_t}{s_t\, t}.$$

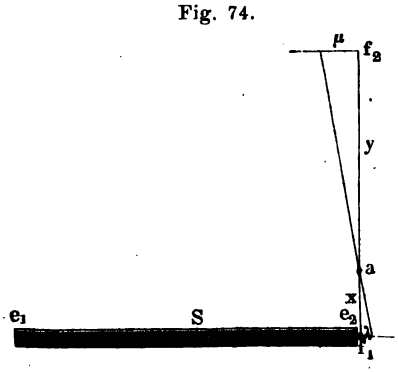
Bei Flüssigkeiten und Gasen kommt nur der cubische Ausdehnungscoëfficient in Betracht.

1. Bestimmung des Ausdehnungscoëfficienten von Stäben nach der Methode von Lavoisier und Laplace.

Gebraucht wird: Modell zur Erläuterung der Spiegelablesung; Fernrohr mit Scala; Apparat von Lavoisier und Laplace mit Blechkasten, Brennern und Wassermantel; Thermometer; $\frac{1}{2}$ m lange Stäbe von Kupfer, Glas und Eisen.

I. Princip. Ein Stab S (Fig. 74) von der Länge L liegt an seinem einen Ende e_1 fest gegen eine verticale Wand, mit seinem anderen e_2 berührt er den einen Endpunkt f_1 eines Fühlhebels, dessen Arme die Längen x und y haben, und der sich um den Punkt a dreht; sein anderes Ende f_2 gleitet längs einer Scala.

Fig. 74.



Verlängert sich der Stab um λ, so verschiebt sich das Ende f_1 um λ und das Ende f_2 um μ, und zwar ist:

$$\mu = \frac{y}{x}\,\lambda, \qquad \lambda = \frac{\mu\, x}{y}.$$

Ist x klein und y gross, so ergiebt sich selbst für ein kleines λ schon ein messbares μ.

Ist z. B. der Ausdehnungscoëfficient eines Körpers $\frac{1}{100\,000}$, so ändert sich die Länge eines 500 mm langen Stabes desselben zwischen 0 und 100^0 um

$$\frac{500 \cdot 100}{100\,000} = 0{,}5\,\text{mm},$$

also ist $\lambda = 0{,}5$ mm. Wäre $x = 30$ mm und $y = 3000$ mm, so wäre die Verschiebung μ des Endes f_2

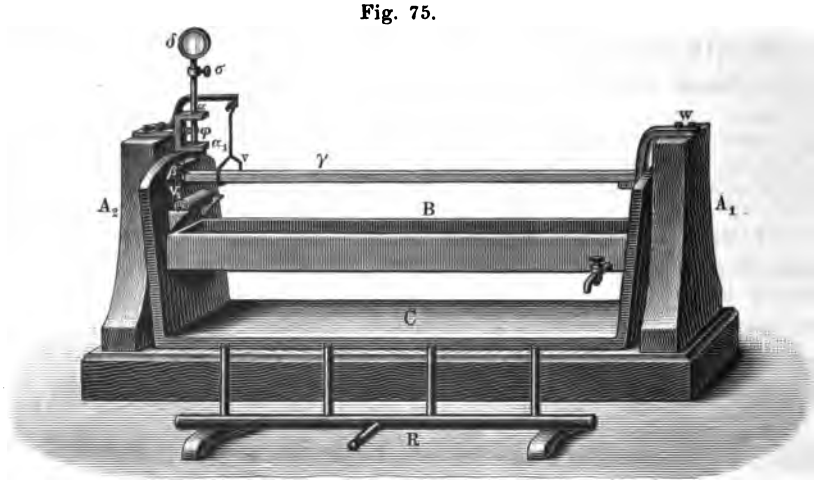
$$\mu = 50 \text{ mm},$$

also eine immerhin nicht sehr grosse Grösse; die Construction eines 3 m langen Fühlhebels ist aber kaum möglich.

Um λ möglichst genau messen zu können, benutzt man die Methode der Spiegelablesung (s. d. S. 21).

II. Apparat (Fig. 75). An einen von zwei Holzböcken A_1, die auf ein Brett aufgeschraubt sind, ist ein eiserner Winkel w angeschraubt, auf dem anderen A_2 befindet sich die zur Messung der Längenänderungen dienende Vorrichtung. Dieselbe besteht aus einer stählernen Axe, die sich in den beiden Lagern α und α_1 dreht und an welcher oben mittelst der Schraube σ der Spiegel δ befestigt ist, während sich unten ein Arm mit einem Stift β ähnlich einer Kurbel befindet. Die Mittellinie des nach

Fig. 75.



unten gehenden Stiftes β ist 30 mm von der Axe entfernt, also ist $x = 30$ mm. Eine Feder φ, welche an einem Vorsprung der in α und α_1 sich drehenden Axe angreift, drückt den Stift β nach rechts.

Von dem Bock A_2 geht noch ein Träger aus, der den Bügel v trägt. Der Metallstab wird auf den Winkel w und in den Bügel v gelegt und gegen ihn β angedrückt.

An den Böcken sind noch Holzrollen v_1 und v_2 (in der Figur nicht zu sehen) angebracht, auf die der zur Erwärmung des Stabes dienende Blechkasten B gesetzt wird. Zum Anheizen dienen die vier mit einander verbundenen Bunsenbrenner R. Ein doppelwandiger Blechkasten C, durch den Wasser fliesst, dient dazu, das Gestell gegen Wärmestrahlung zu schützen.

Die zur Benutzung kommenden Stäbe von 500 mm Länge, 25 mm Breite und 10 mm Höhe liegen in einem Holzbrett zusammen mit dem benutzten, gewöhnlichen Thermometer (Fig. 76).

III. **Uebung.** 1) Man hebt den Blechkasten B in die Höhe, so dass sich der Stab γ innerhalb desselben befindet und giesst Wasser von der Temperatur der Umgebung hinein.

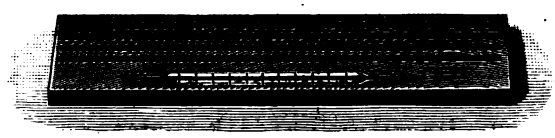
2) Man löst die kleine Schraube σ an dem Spiegel δ und dreht denselben so, dass seine Normale etwa nach der Stelle hinweist, wo man das Fernrohr mit Scala aufstellen will.

3) Man stellt das Fernrohr auf den Spiegel so ein, dass seine Axe senkrecht zu der Ebene desselben steht und man das Bild der Scala scharf sieht. Dazu verfährt man folgendermaassen.

a) Man stellt das Fernrohr auf einen Punkt ein, der doppelt so weit entfernt ist wie der Spiegel (die von dem Spiegel reflectirten, von der Scala ausgehenden Strahlen scheinen von einem Punkte zu kommen, der gerade so weit hinter dem Spiegel liegt, wie die Scala vor demselben).

b) Man geht mit dem Auge nahe an den Spiegel und sucht das reflectirte Bild des Auges, entfernt sich von dem Spiegel, so dass man stets das Spiegelbild des Auges sieht, bis in die Entfernung, in der man das Fernrohr aufstellen will. Man merkt sich diese Lage A des Auges und stellt

Fig. 76.



dann das Fernrohr mit der Scala so auf, dass das Fernrohr selbst gerade eben so weit unter dem Punkte A liegt, wie die Scala über demselben, eventuell kann man auch das Bild eines Lichtes zur Einstellung verwenden. Durch kleine Veränderungen in der Einstellung des Fernrohres, seitliches Verschieben und Hoch- und Niederstellen desselben erreicht man, dass die Scala im Fernrohre scharf erscheint und dass das Bild des senkrecht über der Objectivmitte liegenden Theilstriches derselben mit dem Fadenkreuz zusammenfällt[1]).

4) Man liest die Temperatur des Wassers in dem Blechkasten B ab, sie sei $t_1{}^0$, und den Scalentheil, auf welchen das Fadenkreuz einsteht, er sei Z_1.

5) Man erhitzt, bis das Wasser siedet, liest die Temperatur ab resp. entnimmt die Siedetemperatur der Tabelle (S. 147) mit Hülfe des Barometerstandes; sie sei $t_2{}^0$.

---

[1]) Wir haben für das Fernrohr an derselben Wand, an der auch der Apparat, Fig. 75, aufgestellt ist, eine Console in der bei der Uebung erforderlichen Höhe angebracht.

6) Man liest den Scalentheil ab, auf den das Fadenkreuz einsteht; er sei Z_2.

7) Man misst den Abstand von Scala und Spiegel y und die Länge des Stabes L, dann hat man alle Daten, da $x = 30$ mm gegeben ist, um λ und β zu berechnen.

Alle Längen sind in derselben Einheit, am besten in Millimetern auszudrücken.

Berechnung. Da die an dem Apparate vorkommenden Winkeldrehungen klein sind, so ist nach S. 121 $Z_2 - Z_1$ sehr nahe gleich dem Bogen, den der reflectirte Strahl beschrieben hat und demnach $\frac{1}{2}(Z_2 - Z_1)$ der Bogen μ, um den sich die Spiegelnormale gedreht hat. Die Längenänderung, welche der Stab erfahren hat, ist $\lambda = (Z_2 - Z_1)\frac{x}{2y}$ (vgl. S. 135), also der mittlere Ausdehnungscoëfficient β_l zwischen t_1 und t_2

$$\beta_l = \frac{(Z_2 - Z_1)}{(t_2 - t_1)} \frac{x}{2yL}.$$

Untersucht werden Kupfer und Glas, event. auch Eisen.

Beispiel: $Cu: t_1 = 13{,}5$; $Z_1 = 250$; $t_2 = 93$; $Z_2 = 317$; $y = 1422$; $x = 30$ mm; $L = 500$; $\beta l = 0{,}0000167$. Für Fe ergab sich $\beta l = 0{,}000013$, für Glas 0,0000086. Es sind dies die Ausdehnungscoëfficienten bezogen zwischen t_1 und t_2, bezogen auf die Längeneinheit bei t_1. Würden wir sie auf die Längeneinheit bei 0^0 beziehen, so würden wir fast dasselbe Resultat erhalten.

2. Das Gewichtsdilatometer.

Gebraucht wird: Gewichtsdilatometer mit Kupferdrahtöse; Cylinder (Fig. 77); T-Stück mit Hahn und Schlauch; Wasserstrahl-(Saug-)pumpe; Fliesspapier; Wasserbad mit Thermometer und Rührer; Stativ; Benzol.

I. Princip. Den cubischen Ausdehnungscoëfficienten (vgl. S. 134) von Flüssigkeiten bestimmt man dadurch, dass man ein Glasgefäss bei verschiedenen Temperaturen bis zu einer bestimmten Marke mit der Flüssigkeit füllt und das in dem Volumen des Gefässes enthaltene Gewicht der Flüssigkeit ermittelt.

Ist V_1 das Volumen des Gefässes bei der Anfangstemperatur t_1, P_1 das Gewicht der darin enthaltenen Flüssigkeit, so ist V_1/P_1 das Volumen der Gewichtseinheit derselben 1^0. Ist der Ausdehnungscoëfficient des Glases α, so ist das Volumen des Gefässes bei $t_2{}^0$ gleich $V_2 = V_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$. Wiegt die das Gefäss bei $t_2{}^0$ erfüllende Flüssigkeit P_2, so ist das Volumen der Gewichtseinheit derselben $V_2/P_2 = V_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]/P_2$. Die Volumenänderung der Gewichtseinheit beträgt also zwischen $t_2{}^0$ und $t_1{}^0$: $V_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]/P_2 - V_1/P_1$ und für 1^0 und bezogen auf das Volumen Eins bei $t_1{}^0$:

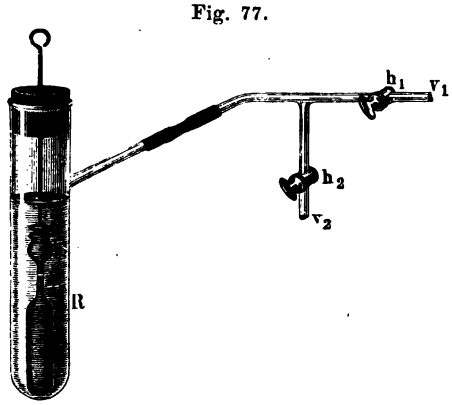
$$\beta = \frac{P_1}{V_1} \cdot \frac{V_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)]/P_2 - V_1/P_1}{t_2 - t_1} = \frac{P_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] - P_2}{P_2(t_2 - t_1)}.$$

Dies ist der cubische Ausdehnungscoëfficient der Flüssigkeit.

Die anzustellenden Uebungen zerfallen danach in zwei Theile: 1. Bestimmung des cubischen Ausdehnungscoëfficienten α des Glases mittelst einer Flüssigkeit, deren Ausdehnungscoëfficient β bekannt ist. Wir nehmen Wasser, bei genauen Bestimmungen nimmt man Quecksilber. 2. Bestimmung des Ausdehnungscoëfficienten irgend einer Flüssigkeit.

II. Apparat. An das ca. 20 cbcm fassende Glasgefäss A, das Dilatometer, Fig. 77, ist oben eine ca. 1 mm weite Capillarröhre B angesetzt, die sich zu einem kleinen Kugeltrichter C erweitert. Dicht unter dieser Erweiterung trägt der Hals B einen Strich.

Fig. 77.



Zur Füllung dient ein 22 cm langer Cylinder. Dicht am oberen Ende ist ein Rohr seitlich angeschmolzen. Durch den Stopfen ist ein Draht geführt, der zum Niederhalten von A in der Flüssigkeit dient. Durch das seitliche Rohr wird der Cylinder mit einem T-Stück verbunden, welches an einem zur umgebenden Luft führenden Schenkel v_2 einen Hahn h_2 trägt. Der dritte, ebenfalls durch einen Hahn h_1 verschliessbare Schenkel v_1 wird mit einer Wasserpumpe in Verbindung gesetzt.

III. **Uebung 1.** Bestimmung des cubischen Ausdehnungscoëfficienten des Glases.

1) Das Dilatometer wird durch Erwärmen und Aussaugen der Luft getrocknet, dann gewogen; sein Gewicht sei P_0.

2) Das Dilatometer wird gefüllt. Dazu wird a) der Glascylinder mit destillirtem, ausgekochtem Wasser gefüllt, das Gefäss A in aufrechter Stellung eingeführt und durch Niederschieben des Drahtes untergetaucht.

b) Der Cylinder wird mit dem T-Stück und der Wasserpumpe in Verbindung gesetzt und durch abwechselndes Schliessen und Oeffnen der Hähne die Luft aus A gesogen und Wasser hineingetrieben. Zweckmässig unterstützt man die Füllung durch Erwärmen.

3) Ist A vollständig gefüllt, so wird es in ein Wasserbad gesetzt.

4) Hat das Dilatometer vollkommen die Temperatur des Wasserbades angenommen, so wird alle Flüssigkeit bis zur Marke mit Fliesspapier abgetupft und die Temperatur abgelesen; sie sei t_1.

5) Das Dilatometer wird abgetrocknet und gewogen; Gewicht P_{w_1}.

6) Das Dilatometer wird in einem Wasserbade bis auf ca. 80° erhitzt und auf der Endtemperatur t_2 längere Zeit erhalten; das Wasser wird bis zur Marke abgetupft, dann das Dilatometer abgekühlt und gewogen; Gewicht P_{w_2}.

7) Das Dilatometer wird entleert. Dazu hängt man dasselbe umgekehrt (A oben, C unten) mittelst eines dünnen Drahtes in dem Glascylinder an dem in die Höhe gezogenen Drahte auf und saugt abwechselnd aus und lässt Luft zu.

IV. Berechnung. Das Gewicht der Wassermenge, welche bei der Temperatur t_1 in A enthalten ist, ist $P_{w_1} - P_0 = P_1$; bei der Temperatur t_2 ist die Wassermenge $P_{w_2} - P_0 = P_2$ in dem Gefäss enthalten. Die den Temperaturen t_1 und t_2 entsprechenden specifischen Gewichte s_1 und s_2 findet man aus der Tabelle. Die Volumina sind $V_1 = P_1/s_1$ und $V_2 = P_2/s_2$[1]), der cubische Ausdehnungscoëfficient des Glases ist also:

$$\frac{V_2 - V_1}{V_1(t_2 - t_1)} = \alpha.$$

Tabelle. Specifisches Gewicht des Wassers bei verschiedenen Temperaturen:

t	s	t	s
0°	0,99988	55°	0,98584
5°	0,99999	60°	0,98334
10°	0,99974	65°	0,98071
15°	0,99915	70°	0,97789
20°	0,99827	75°	0,97493
25°	0,99714	80°	0,97190
30°	0,99577	85°	0,96876
35°	0,99417	90°	0,96549
40°	0,99236	95°	0,96208
45°	0,99035	100°	0,95856
50°	0,98817		

Beispiel: $P_0 = 11{,}600$ g; $P_{w_1} = 30{,}406$ ($t_1 = 15°$); $P_{w_2} = 29{,}864$ ($t_2 = 85°$); $P_1 = P_{w_1} - P_0 = 18{,}806$; $P_2 = P_{w_2} - P_0 = 18{,}264$. Die Tabelle giebt: $s_1 = 0{,}99915$, $s_2 = 0{,}96876$. Also ist $V_1 = 18{,}822$, $V_2 = 18{,}853$, $V_2 - V_1 = 0{,}031$, $\alpha = 0{,}031 : 1317{,}54 = 0{,}000024$.

Uebung 2. Bestimmung des cubischen Ausdehnungscoëfficienten von Benzol. Alle Einzelheiten der Uebung gestalten sich wie beim Wasser, nur verschliesst man das Dilatometer bei allen Wägungen mit einem Stopfen, um Verluste durch Verdunstung zu verhüten. Man erhitzt etwa bis 60°.

Die Berechnung geschieht nach der obigen Formel.

Beispiel: $P_1 = P_{b_1} - P_0 = 28{,}360 - 11{,}815 = 16{,}545$ g ($t_1 = 17{,}5°$) (mit Stopfen); $P_2 = P_{b_2} - P_0 = 27{,}520 - 11{,}815 = 15{,}705$ g ($t_2 = 60{,}5°$); $P_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] = 16{,}562$ g; $P_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] - P_2 = 0{,}857$; $\beta = 0{,}00127$.

V. Allgemeines. Die Volumina der Gewichtseinheit bei irgend einer Temperatur t, wie sie sich z. B. aus den Messungen der Dichte d

[1]) Mit der siebenstelligen Logarithmentafel zu rechnen.

bei verschiedenen Temperaturen ergeben, stellt man als die Function der Temperatur durch eine Formel $V_t = V_o(1 + at + bt^2 + ct^3)$ dar, wo $a\,b\,c$ Constanten sind.

Zur Ableitung allgemeiner Beziehungen zwischen den Molecularvolumen verschiedener Verbindungen werden meist diejenigen, welche dieselben bei den Siedetemperaturen besitzen, benutzt. Diese ergeben sich aus der Formel, wenn man in derselben für t die Siedetemperatur T einsetzt. Man kann die Ausdehnung der Flüssigkeiten auch in thermometerähnlichen Dilatometern ermitteln. Statt durch Interpolation kann man aber auch direct das Volumen beim Siedepunkt bestimmen.

3. Bestimmung des specifischen Gewichtes und des Molecularvolumens der Flüssigkeiten beim Siedepunkt.

I. Princip. Um das Molecularvolumen einer Flüssigkeit beim Siedepunkt zu bestimmen, erhitzt man ein mit derselben gefülltes kleines Pyknometer in dem Dampfe der Flüssigkeit selbst.

Fig. 78.

II. Apparat. 1. Das ca. 2,5 cbcm fassende Pyknometer hat die Gestalt δ der Fig. 78, die an δ angesetzte Röhre ist eng und am Ende umgebogen.

2. Der Erhitzungsapparat hat die Gestalt der Fig. 78. Durch den Kork ist das Thermometer α, der das Pyknometer tragende Draht γ, sowie ein enges Capillarrohr β geführt; durch letzteres wird bei stossenden Flüssigkeiten ein langsamer Luftstrom eingeleitet. Bei a wird das eine Ende eines Rückflusskühlers eingesetzt, dessen anderes Ende event. mit einer Evacuationsvorrichtung nebst Druckregulator communicirt. Das Rohr b hat den Zweck, zu verhüten, dass die aus dem Rückflusskühler kommende kalte Flüssigkeit das Thermometer trifft.

III. **Uebung.** a) Trocknen und Füllen des Pyknometers. 1) Man hängt das Pyknometer in ein leeres Reagirglas R (Fig. 77), verbindet v_1 mit einer Wasserstrahlpumpe, v_2 mit einem Trockenapparat. Man schliesst h_2 und evacuirt, schliesst h_1, öffnet h_2 und lässt trockene Luft ein, gleichzeitig erwärmt man R.

2) Man bringt in das Reagirglas die ausgekochte Flüssigkeit, resp. kocht dieselbe im Reagirglase aus, evacuirt und lässt Luft zu, dabei tritt die Flüssigkeit in δ ein. Ist alle Luft bis auf ein kleines Bläschen

verschwunden, so erwärmt man und treibt dadurch auch dieses aus, dann lässt man abkühlen.

b) Messung. 1) Man trocknet das Pyknometer und wägt dasselbe leer. Gewicht P.

2) Man wägt das Pyknometer voll Wasser von t^0. Gewicht P_{wt}.

3) Man hängt das Pyknometer so in den Erhitzungsapparat, der Wasser enthält, dass das untere Ende nicht in das Wasser eintaucht, und erhitzt; die Siedetemperatur des Wassers sei bei dem herrschenden Drucke T.

4) Man nimmt das Pyknometer wieder heraus und wägt. Gewicht P_{wT}.

5) Man entfernt das Wasser und füllt das Pyknometer mit der zu untersuchenden Flüssigkeit und erhitzt in dem Dampfe derselben. Temperatur T'.

6) Man nimmt das Pyknometer heraus und wägt. Gewicht P'.

IV. Berechnung. Die Versuche 1) bis 4) dienen dazu, das Volumen des Pyknometers und die Ausdehnung des Glases zu bestimmen.

Ist s die Dichte des Wassers bei t^0, s_1 bei T^0, so ist das Volumen des Pyknometers bei t^0: $V_t = \frac{P_{wt} - P}{s}$, bei T^0: $V_T = \frac{P_{wT} - P}{s_1}$. Die Aenderung des Volumens des Pyknometers bei der Temperaturerhöhung von t bis T^0 beträgt also:

$$V_T - V_t = \frac{P_{wT} - P}{s_1} - \frac{P_{wt} - P}{s}.$$

Für einen Grad ist die Aenderung $\frac{V_T - V_t}{T - t} = \alpha$. Danach ist das Volumen des Pyknometers bei irgend einer Temperatur T':

$$V_{T'} = \frac{P_{wt} - P}{s} + \alpha(T' - t).$$

Die Dichte der untersuchten Flüssigkeit bei dieser Temperatur ist:

$$d_{T'} = \frac{P' - P}{V_{T'}},$$

und das Molecularvolumen, wenn M das Moleculargewicht ist:

$$V_M = M \cdot \frac{V_{T'}}{P' - P}.$$

Untersucht werden H_2O, CH_4O, C_2H_6O, $C_5H_{10}O$, C_6H_6.

V. Allgemeines.

Van der Waals und Onnes haben gezeigt, dass entsprechende Zustände solche sind, bei denen die Temperaturen und Drucke gleiche Bruchtheile der kritischen Temperatur und des kritischen Druckes sind (vgl. S. 156).

Die Siedepunkte, wie sie unter Atmosphärendruck erhalten werden, entsprechen ungefähr übereinstimmenden Zuständen; es ist daher auch erklärlich, dass die bei ihnen bestimmten Molecularvolumina Regelmässig-

keiten zeigen, welche die bei beliebigen Temperaturen, etwa bei 0^0, ermittelten meist nicht aufweisen. Indess zeigen sich auch für die Molecularvolumina bei 0^0 manche Regelmässigkeiten.

Beim Siedepunkt besitzen z. B. die Essigsäure und das ihr isomere Methylformiat nahezu dieselben Molecularvolumina, 63,5 und 63,4, während dies bei der Temperatur 0^0 nicht der Fall ist, hier sind sie 55,6 und 60,1. Aehnliches gilt auch von anderen Isomeren.

Aus Bestimmungen der Molecularvolumina beim Siedepunkt hat sich eine grosse Anzahl von Regelmässigkeiten ergeben, die sich aber noch nicht zu einem einheitlichen Gesetz zusammenfassen lassen. Wir heben nur folgende hervor:

1. Isomere Körper aus derselben Reihe, bei denen die Bindungen ähnliche sind, zeigen nahezu gleiches Molecularvolumen. Darauf, dass dies nicht streng der Fall ist, hat ausser anderen Thorpe aufmerksam gemacht.

2. Gleichen Differenzen D der Zusammensetzung entsprechen bei chemisch ähnlichen Körpern auch gleiche Differenzen Δ der Molecularvolumina; z. B. für $D = n.CH_2 : \Delta = n.22$.

3. Ersetzt man H_2 durch C, so ändert sich im Allgemeinen das Molecularvolumen nur wenig.

4. Ersetzt man H_2 durch doppelt gebundenen O, so ändert sich oft das Molecularvolumen nur wenig.

Berechnet man aus verschiedenen Verbindungen in der S. 76 angegebenen Weise die Atomvolumina der Elemente innerhalb der Verbindungen, so scheinen dieselben eine periodische Function des Atomgewichtes zu sein. Die folgende Tabelle enthält die Atomvolumina einer Reihe von Elementen, die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf doppelt gebundene Atome:

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
H = 5,5	C = 11	Si = 30,3			Sn = 40,8
			Ti = 33,6		
		P = 25,3		As = 26,3	Sb = 28,6
			V = 30,4 (26,0)		
	O = 7,8 (12,2)	S = 22,6 (28,6)			
			Cr = 24,5		
	F = 9,2	Cl = 22,7		Br = 28,1	J = 36,6

Berechnet man aus diesen Atomvolumen rückwärts diejenigen von anderen Verbindungen, so erhält man in vielen Fällen gute Uebereinstimmung, in anderen aber auch recht grosse Abweichungen.

Dass dasselbe Element, wenn es in verschiedener Weise gebunden ist, verschiedene Atomvolumina besitzt, sieht man schon daraus, dass

isomere Körper mit verschiedener Bindung verschiedene Molecularvolumina besitzen. So ist das Molecularvolumen von Isomeren, die doppelte Verbindungen enthalten, stets grösser als dasjenige von denen, die nur einfache haben.

Die Zunahme des Molecularvolumens für den Fall, dass doppelte Bindungen eintreten, führt zu der Annahme, dass die doppelten Bindungen nicht einem Aneinanderrücken der Atome, sondern vielmehr einer grösseren Entfernung derselben entsprechen. Man bezeichnet die doppelte Bindung daher mit Brühl als „Lücke". Dass bei den doppelten Bindungen die Atome nicht nur nicht fester, sondern lockerer an einander gekettet sind als bei den einfachen, dafür spricht auch die grössere Verbrennungswärme der sogen. ungesättigten Verbindungen und ihr grösseres Refractionsvermögen.

Woran es liegt, dass sich hier noch keine einfachen Beziehungen ergeben, lässt sich noch nicht angeben; zum grossen Theil ist wohl der Grund, dass der Abstand eines Atomes von einem benachbarten, mit dem es verbunden ist, nicht allein von seinen Eigenschaften, sondern auch von denen desjenigen abhängt, mit denen es verbunden ist.

II. Das Thermometer.

Gebraucht wird: Ein Gefäss für Nullpunktbestimmungen, Eis mit Reibeisen bez. Schnee, Flanellstreifen. Siedegefäss mit Wassermanometer, Dreifuss und Brenner für dasselbe, Barometer. Spiegelglasstreifen oder Lupe auf Stativ zum Calibriren; verschiedene Thermometer, bei denen die Fundamentalpunkte beträchtlich falsch sind und die Röhre an verschiedenen Stellen ungleich weit ist (vergl. die Zahlenbeispiele).

Normalthermometer. Topf mit Dreifuss, Brenner und Rührer und einem Stativ mit zwei Klammern zum Vergleiche zweier Thermometer.

Einleitung. Das Thermometer giebt die Temperatur der Körper, in deren Inneres es hinreichend lange eingesenkt worden ist, durch die Ausdehnung einer in ihm enthaltenen Flüssigkeit, Quecksilber oder Alkohol, an (über das Luftthermometer s. S. 80). Die beiden Fundamentalpunkte sind der 0-Punkt (Temperatur des schmelzenden Eises) und der 100-Punkt (Temperatur des siedenden Wassers bei 760 mm Druck); das Volumen der Röhre zwischen diesen Punkten wird in 100 Theile getheilt und danach werden die Grade bestimmt. Erwärmt man das Thermometer, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre in die Höhe und die Temperatur wird an dem Stande derselben in der Röhre gemessen.

Will man mit irgend einem Thermometer Messungen ausführen, so muss man sich davon überzeugen, ob 1. die Fundamentalpunkte wirklich an den Stellen 0 und 100 der Theilung liegen und 2. ob die angegebenen Grade gleichen Volumen in der Röhre entsprechen. Zeigen sich Abweichungen, so sind alle mit dem Instrumente gemessenen Temperaturen entsprechend zu corrigiren.

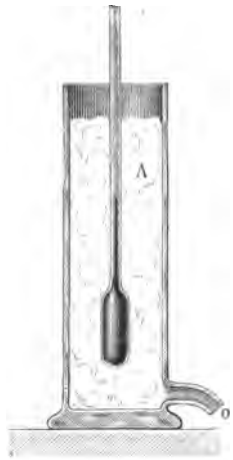
1. Bestimmung der Fundamentalpunkte eines Thermometers.

1. Bestimmung des Nullpunktes. Als Nullpunkt wählt man die Temperatur des schmelzenden, reinen Eises oder Schnees. Mit dem Druck nimmt dieselbe so wenig ab (für 1 Atmosphäre um ca. 0,00828°), dass wir dies für unsere Zwecke vernachlässigen können.

Man senkt das Thermometer, dessen Kugel man mit etwas Flanell umwickelt hat, in ein Gefäss A von der Form Fig. 79 (a. f. S.), füllt

dieses mit reinem Schnee oder fein gepulvertem Eis und giesst etwas Wasser darauf. Das Eis darf das Thermometer nicht direct berühren, da seine Temperatur oft unter 0^0 liegt, während die des Schmelzwassers, das mit ihm in Berührung ist, genau 0^0 beträgt. Die Oeffnung *o* dient zum Abfliessen des Schmelzwassers. Nach einiger Zeit liest man die Stellung der Quecksilbersäule ab.

Fig. 79.



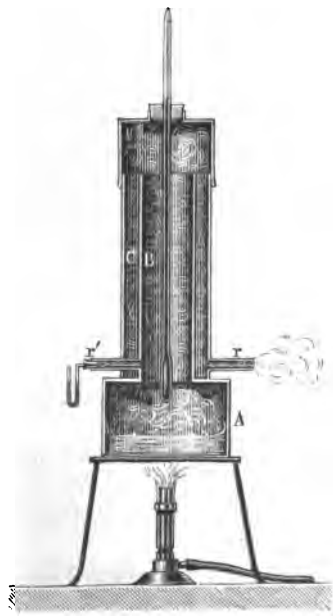
Die gefundene Temperatur ist der wahre Nullpunkt; liegt derselbe etwa um t^0 über oder unter dem angegebenen Punkte, so sind von allen Ablesungen t^0 abzuziehen, resp. zu denselben zuzuzählen.

Meist liegt der wahre Nullpunkt höher als auf der Scala angegeben, da mit der Zeit das Volumen der Kugel sich verkleinert, also die Thermometerflüssigkeit in die Höhe gedrückt wird.

Beispiel: Thermometer Nr. 1: $t = +2{,}7^0$; Nr. 2: $t = -3{,}2^0$; Nr. 3: $t = +1{,}8^0$.

2. Bestimmung des Siedepunktes. Zu derselben dient der Apparat Fig. 80. Derselbe besteht aus einem Blechgefäss *A*, auf welches ein Blechrohr *B* aufgesetzt ist. Letzteres ist von einem weiteren Blechrohr *C* umgeben, welches bei *r* und *r'* und entsprechend vorn und hinten seitliche Röhren trägt, in deren eine, *r'*, ein kleines Wassermanometer eingesetzt ist. In dem Deckel des Gefässes wird mittelst eines Korkes das Thermometer befestigt, so dass der dem Siedepunkt entsprechende Theilstrich nur wenig über demselben hervorragt. In das Blechgefäss *A* wird Wasser gegossen und zum Sieden erhitzt. Die Kugel des Thermometers darf nicht in dasselbe hineinragen. Der Dampf umspült das Thermometer, geht durch die Hülle *C* nach unten und strömt bei *r* aus. Hierdurch ist der innere Theil des Apparates *B* vor Abkühlung durch Strahlung geschützt.

Fig. 80.



Man liest, wenn der Dampf etwa fünf Minuten lang aus *r* ausgeströmt ist, den Stand T^0 des Thermometers, sowie die Höhe *p* der Wassersäule in dem Manometer bei *r'* ab.

Man liest den Barometerstand b ab, reducirt ihn auf 0^0 nach S. 15, addirt zu ihm die durch 13,56 dividirte Höhe p und entnimmt der untenstehenden Tabelle die wahre Siedetemperatur $T_1{}^0$ des Wassers bei $b + p/13{,}56$ mm Druck.

3. Correction der zwischenliegenden Grade. Hat ein Thermometer den wahren Nullpunkt bei dem Scalentheile t^0 und entspricht der wahren Siedetemperatur von $T_1{}^0$ der Scalentheil von T^0, ist die Thermometerröhre cylindrisch und sind die Scalentheile überall gleich gross, so entspricht der Länge eines Scalentheiles eine Temperaturdifferenz von $T_1/(T-t)$ Grad. Zeigt also das Thermometer eine Temperatur τ' an, so ist die wahre Temperatur τ bestimmt durch

$$\tau = (\tau' - t) \cdot \frac{T_1}{T - t},$$

und einer wahren Temperatur τ entspricht eine Temperatur τ' am Thermometer:

$$\tau' = t + \tau . \frac{T - t}{T_1}.$$

Der wahren Temperatur 100^0 (Siedepunkt) entspricht eine Temperatur T' des Thermometers:

$$T' = t + 100 . \frac{T - t}{T_1}.$$

Beispiel: Thermometer Nr. 1: $T = 101{,}6^0$ bei $b = 749{,}1$ und $p/13{,}56 = 2{,}7$ mm (reducirt nach S. 14). Die Tabelle giebt für den Druck 751,8 mm die Siedetemperatur: $T_1 = 99{,}7^0$; das Thermometer zeigt auf $T = 101{,}6^0$, also ist der Scalenwerth eines Thermometergrades $98{,}9/99{,}7 = 0{,}99$. Bei der Temperatur 100^0 zeigt das Thermometer also $T' = 2{,}7 + 100 \times 0{,}99 = 101{,}7^0$ an. Aehnlich wurde gefunden für Nr. 2: $T' = 98{,}8^0$; für Nr. 3: $T' = 100{,}9^0$.

Tabelle. Siedepunkte des Wassers t bei verschiedenen Barometerständen b:

b	t	b	t
700 mm	$97{,}72^0$	745 mm	$99{,}44^0$
710 „	$98{,}11^0$	750 „	$99{,}63^0$
720 „	$98{,}50^0$	755 „	$99{,}82^0$
730 „	$98{,}88^0$	760 „	$100{,}00^0$
735 „	$99{,}07^0$	770 „	$100{,}36^0$
740 „	$99{,}26^0$		

2. Calibriren einer Thermometerröhre.

1. Man neigt das Thermometer, so dass die Kugel nach oben gerichtet ist, und stösst das nach unten geneigte Ende gegen den Tisch, bis ein Stück des Quecksilberfadens abreisst. Dasselbe darf nicht zu lang sein (etwa 20 Scalentheile lang). Sollten trotz mehrfacher Versuche sich längere Fadenstücke abtrennen, so steckt man die Kugel in

Eis und führt den Stoss aus, wenn das Fadenende genügend kurz ist (gewöhnlich reisst der Faden dort ab, wo er aus der Kugel austritt).

2. Man bringt den losgetrennten Faden nahe an das eine Ende der Thermometerröhre.

3. a) Man legt unter das Thermometer einen Spiegelglasstreifen und beobachtet, mit welchen Gradstrichen die Enden des Fadens zusammenfallen. Man bringt das Auge immer so über die Enden des Fadens, dass das Spiegelbild des Auges mit den Enden zusammen zu fallen scheint. Oder b) man legt das Thermometer auf einen Holzklotz, über dem eine Lupe befestigt ist. Unter der Mitte derselben ist ein Strich gezogen, über dem zur Vermeidung von Parallaxenfehlern (s. diese S. 53) das Ende des Fadens beim Ablesen liegen muss.

4. Durch mässiges Klopfen und Neigen des Thermometers verschiebt man das abgerissene Fadenstück so auf verschiedene Stellen der Scala, dass sein Anfang möglichst mit seinem früheren Ende zusammenfällt, und bestimmt jedesmal die Länge des Fadens in Scalentheilen.

Ist a Scalentheile die ungefähre Länge des Fadenstückes, so bringt man dasselbe zunächst zwischen die Scalentheile 0 und a; die Länge sei l_1. Dann zwischen a und $2a$; Länge l_2 u. s. w. Ist l das arithmetische Mittel aus allen (n) gemessenen, zwischen T und t nahezu gleichmässig vertheilten Längen, d. h. $l = \frac{l_1 + l_2 + \cdots + l_n}{n}$, so ist (in erster Annäherung) für die Theilstriche zwischen 0 und a:

$$\frac{(\tau' - t)\,T_1}{T - t} \cdot \frac{l}{l_1} = \tau,$$

für die Theilstriche zwischen a und $2a$:

$$\frac{(\tau' - t)\,T_1}{T - t} \cdot \frac{2l}{l_1 + l_2} = \tau$$

u. s. w. (τ die wahren, τ' die scheinbaren Temperaturen).

Hiernach fertigt man eine Tabelle an, welche für jede Temperatur τ die entsprechenden Theilstriche τ' angiebt. Aus dieser entnimmt man umgekehrt für jede mit dem Thermometer gemessene Temperatur die zugehörige wahre Temperatur. Bei sehr genauen Messungen müssen genauere Methoden bei der Calibrirung verwandt werden.

Beispiel: Für ein Thermometer wurde gefunden: $t = +2{,}7^0$; $T = 100{,}8^0$; $l_1 = 20{,}2$; $l_2 = 20{,}0$; $l_3 = 19{,}8$; $l_4 = 19{,}6$; $l_5 = 19{,}4$; $l = 19{,}8$. Der Factor, mit dem $\tau' - t$ zu multipliciren ist, um die abgelesenen Temperaturen τ' auf wahre zu reduciren, ist also zwischen 0 und $20^0 = 0{,}99$, 20 und $40^0 = 1{,}00$, 40 und $60^0 = 1{,}01$, 60 und $80^0 = 1{,}02$, 80 und $100^0 = 1{,}03$. Man erhält so die Correctionstabelle:

$\tau' =$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\tau =$	−2,7	7,3	17,3	27,3	37,5	47,8	57,9	68,5	79,2	89,9	100,8

aus der man die zwischenliegenden angenähert richtig durch Interpolation erhält.

3. Vergleichung zweier Thermometer.

Man stellt beide Thermometer dicht neben einander, am besten so zusammengebunden, dass ihre Kugeln auf gleicher Höhe liegen, in ein Bad voll Wasser oder für höhere Temperaturen in ein Bad voll Oel und dergleichen, erwärmt langsam, rührt fortwährend um, so dass beide immer die gleiche Temperatur haben und liest die entsprechenden Stellungen der Quecksilbersäulen in Graden ab.

Ist das erste Thermometer ein sog. „Normalthermometer", so kann man die gefundenen Differenzen beider Instrumente bei verschiedenen Temperaturen dazu benutzen, um eine Correctionstabelle für das zweite zu entwerfen.

Uebung. Man controlire die nach .2. entworfene Tabelle durch Vergleich mit dem Normalthermometer.

Bemerkung: Bei dieser Vergleichung wird eigentlich vorausgesetzt, dass beide Thermometer stets bis zum Niveau des Qecksilbers in ihren Röhren in das Wasserbad eintauchen. Ist dies nicht der Fall, so hat der herausragende Faden nicht die Temperatur des Bades, und die Thermometer zeigen eine niedrigere Temperatur an, als das Bad wirklich besitzt. Um aus der beobachteten Temperatur die wahre zu finden, hängt man neben die beiden Thermometer ein drittes, dessen Kugel etwa in der Mitte der herausragenden Fäden sich befindet und die mittlere Temperatur der Fäden angiebt. Ist T die an den zu vergleichenden Thermometern abgelesene Temperatur des Bades, t die mittlere Fadentemperatur, so ist zu T noch die Correction $k\ (T - t)\ l$ hinzuzufügen, wo l die Länge der herausragenden Fäden in Graden, $k = 0{,}000\,156$ die relative cubische Ausdehnung des Quecksilbers im Glase ist [1]).

[1]) Bezüglich genauerer Correctionsformeln vergl. Wüllner, Lehrb. der Physik, Bd. III, S. 375, 1885.

III. Schmelzpunkt.

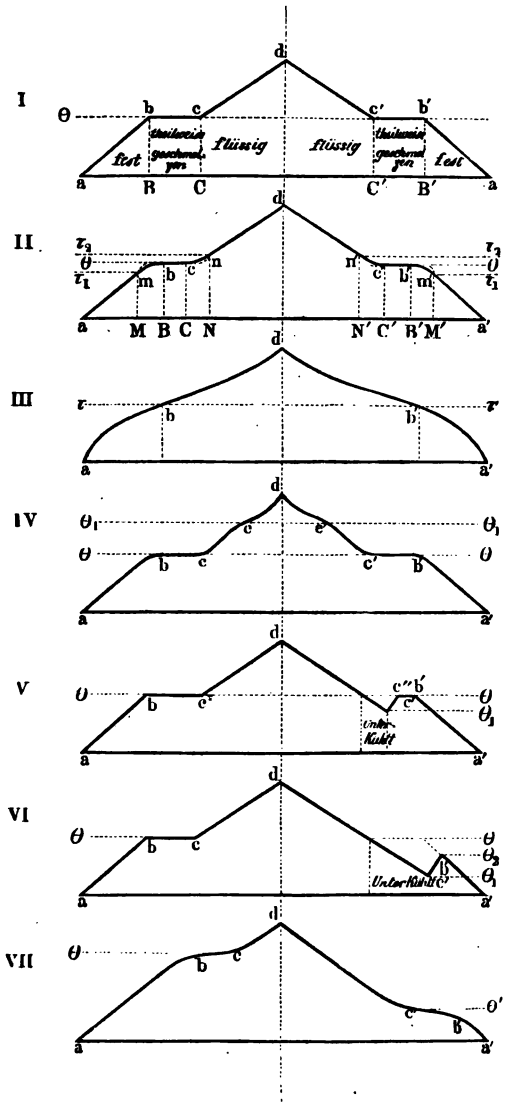
Gebraucht wird: Schmelzröhrchen; Thermometer; Paraffinbad; Dreifuss; Asbestpappe; Schmelzgefässe mit Pb_4Sn, Pb_2Sn und Rose'schem Metall; Thermometer (bis ca. 300°); Oel; Stativ mit Ring; Brenner; Blechgefäss mit Pappdeckel; Chronometer (S. 29).

Einleitung. Um die Vorgänge bei dem Schmelzen eines Körpers zu verfolgen, stellen wir uns vor, dass demselben in gleichen Zeiten gleiche Wärmemengen zugeführt werden, etwa dadurch, dass man ihn in einer Schale durch eine constant brennende Flamme erwärmt. Man trägt die Zeiten als Abscissen und die diesen entsprechenden Temperaturen als Ordinaten auf; die beigefügten Curven sind in dieser Weise gezeichnet, Fig. 81.

In dem einfachsten Falle (I) (Fig. 81) geht die ganze Menge des festen Körpers bei einer bestimmten Temperatur $\Theta = bB$ aus dem festen in den flüssigen Zustand über. Hier tritt zunächst bei gleicher Wärmezufuhr zu dem festen Körper auch eine gleiche Temperaturerhöhung desselben ein, die Curve ist eine gerade ansteigende Linie ab; bei der Temperatur Θ beginnt das Schmelzen; dazu wird Wärme verbraucht, und die Temperatur bleibt, bis Alles geschmolzen ist, constant. Die Curve ist eine der Abscissenaxe parallele Linie; ist der ganze Körper geschmolzen, so bewirkt eine neue Wärmezufuhr auch ein erneutes Steigen der Temperatur der Flüssigkeit. Bei dem zweiten Falle (II) beginnt der Körper bei einer Temperatur τ_1 weich zu werden, bei der Temperatur Θ tritt das Schmelzen des grössten Theiles ein, setzt sich aber noch ein wenig oberhalb derselben bis zu τ_2 fort; je kleiner $\tau_2 - \tau_1$ ist, um so mehr nähert sich der Fall II dem Falle I. Zwischen τ_1 und τ_2 steigt das Thermometer langsam und bleibt bei Θ eine Zeit lang stehen, da das Weichwerden und Schmelzen mit einem Wärmeverbrauch verbunden ist. Im Falle III findet das Erweichen ganz allmählich statt, die Temperaturzunahme ist während einer längeren Zeit verlangsamt, doch bleibt die Temperatur nicht längere Zeit constant. Im Falle IV tritt bei einer Temperatur Θ ein constanter Schmelzpunkt, bei dem ein grösserer Theil der Substanz flüssig wird, bei einer zweiten Θ_1 ein langsames Ansteigen, herrührend von dem Uebergang der noch festen Substanz in den flüssigen Zustand, auf.

Die beim Abkühlen auftretenden Processe sind gewöhnlich genau dieselben wie beim Erwärmen, nur im entgegengesetzten Sinne; sie werden durch die rechten Hälften der Figuren dargestellt. Die Schmelzpunkte werden jetzt Erstarrungspunkte. Es können aber auch Complicationen in Folge des Ueberschmelzens oder Unterkühlens eintreten (Fall V und VI). Dann erstarrt der Körper nicht bei derjenigen Temperatur Θ, bei der er schmilzt, sondern bei einer niedrigeren Θ_1; die dabei frei werdende Wärmemenge erhitzt ihn dann, wenn Θ_1 nicht gar zu niedrig ist, bis zu Θ, sonst nur bis zu einer niedrigeren Temperatur Θ_2.

Fig. 81.



Eine vollkommene Unregelmässigkeit tritt ein, wenn ein Körper sich bei seinem Erhitzen über den Schmelzpunkt Θ in eine andere Modification mit höherem oder niedrigerem Schmelzpunkt Θ' verwandelt (Fall VII).

Bestimmung des Schmelzpunktes.

Methode I. Man beobachtet den Schmelzpunkt, die Temperatur des Ueberganges aus dem festen in den flüssigen Zustand direct.

Uebung. 1) Man saugt die Substanz im geschmolzenen Zustande in ein dünnwandiges Capillarröhrchen ein, das man dann unten ab-

schmilzt, oder wirft in ein ebensolches, unten zugeschmolzenes Röhrchen die gepulverte Substanz. Besser biegt man das Capillarröhrchen U-förmig und bringt die Substanz in die Biegung.

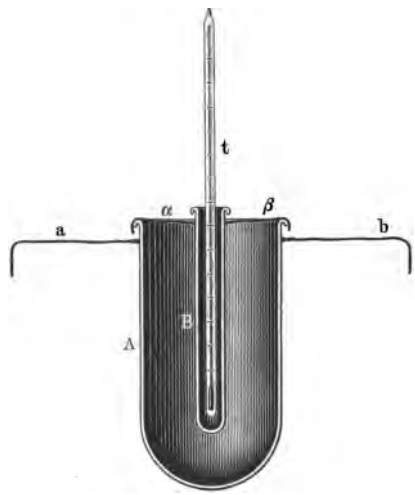
2) Man befestigt durch ein übergeschobenes Stückchen Kautschukschlauch die Röhrchen an einem Thermometer so, dass sich die Substanz neben der Thermometerkugel befindet.

3) Man taucht das Ganze in ein Becherglas, welches mit Wasser, Oel, Paraffin oder Schwefelsäure gefüllt ist, und das man auf einem Stativ auf Asbestpappe stellt. Man bringt unter letztere eine Flamme, erwärmt und bestimmt unter fortwährendem Umrühren die Temperatur beim Schmelzen und Erstarren der Substanz; der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand ist meist an einer Veränderung des Aussehens der Glaswand erkennbar.

Methode II. Man beobachtet die Temperatur (Θ der Curve), bei welcher der Stand des Thermometers sich beim Abkühlen eine Zeit lang nicht ändert.

Apparat. Zum Versuche dient ein weites cylindrisches Gefäss *A*, Fig. 82, am besten aus Metall, in dem die zu untersuchende Substanz geschmolzen wird; dasselbe wird von zwei Drähten *a* und *b* getragen. In der Axe desselben ist durch Drähte α und β ein engeres, unten geschlossenes und mit einer hochsiedenden Flüssigkeit gefülltes Rohr *B* eingehängt, resp. an das äussere Gefäss angebunden, in *B* ist das Thermometer *t* eingesenkt.

Fig. 82.



Das innere Rohr ist so weit, dass es gerade das Thermometer aufnimmt. Das innere Rohr dient dazu, die Thermometerkugel vor dem Zerdrücken beim Erstarren der geschmolzenen Substanz zu schützen. Nach dem Schmelzen hängt man das Gefäss *A* mittelst *a* und *b* in ein grösseres Metallgefäss, das man eventuell in ein Gefäss mit Wasser einsetzt.

Uebung 1. 1) Man bringt in das Gefäss Zinn.

2) Man erhitzt bis auf ca. 260°.

3) Man lässt abkühlen und bestimmt zu den Zeiten *z* von $^1/_2$ Minute zu $^1/_2$ Minute resp. Minute zu Minute die Temperatur *t* und bildet die Differenzen Δ zwischen je zwei nach einander beobachteten Temperaturen. Das Thermometer steht bei ca. 230° längere Zeit still.

Uebung 2. Man bringt in ein entsprechendes Gefäss eine Legirung Pb_4Sn (7 Gewichtsthle. Pb auf 1 Gewichtsthl. Sn), erhitzt auf etwa 320° und verfährt wie oben.

Beispiel:

z =	0′	1′	2′	3′	4′	5′	6′	7′	8′	9′	10′	11′
t =	314,0	301,0	290,0	**282,0**	**275,5**	**269,0**	261,0	252,2	242,0	231,5	221,0	210,0
Δ =		13,0	11,0	8,0	6,5	6,5	8,0	8,8	10,2	10,5	10,5	11,0	10,0
z =	12′	13′	14′	14½′	15′	15½′	16′	16½′	17′	18′	19′	
t =	200,0	190,0	181,5	178,2	**177,9**	175,0	171,5	167,0	163,0	156,0	148,5	
Δ =		10,0	8,5	(3,3)	(0,3)	(2,9)	(3,5)	(4,5)	(4,0)	7,0	7,5	

Die Temperatur fällt zuerst von 314 bis 282° schnell, dann bis 269° langsam, dann wieder schneller, bis bei 178° ein fast vollkommener Stillstand eintritt, dann folgt ein schnelleres Fallen. Die Temperatur von ca. 282 bis 269° entspricht der Stelle Θ_1, Fig. 81 IV, die Temperatur 178° der Stelle Θ.

Uebung 3. Mit einem Gemisch Pb_2Sn wird derselbe Versuch angestellt. Der Stillstand ist bei 178° weit ausgesprochener.

Allgemeines.

Legirungen und Gemische von Salzen, von Fetten etc. haben Schmelzpunkte, die niedriger liegen, als die der Componenten, Pb schmilzt bei 326°, Sn bei 230°, Pb_2Sn bei 178° u. s. w. Schon kleine Zusätze von einem Metall zu einem anderen erniedrigen den Schmelzpunkt desselben; man hat es mit ganz analogen Erscheinungen wie bei den Gefrierpunktserniedrigungen zu thun (s. w. u.). Die bei Pb_4Sn beobachteten zwei Schmelzpunkte und die analogen Erscheinungen bei Gemischen von Fetten etc. (so bei $NaNO_3$ und KNO_3) lassen sich im Wesentlichen folgendermaassen erklären. Zwischen den beiden Componenten entsteht eine Legirung a von einem Schmelzpunkt, der niedriger liegt als der einer jeden der Componenten, in ihr löst sich das überschüssige Metall, und zwar in einer mit der Temperatur schnell steigenden Menge. Kühlt sich eine solche Lösung von einer so hohen Temperatur ab, dass bei ihr die gesammte Substanz flüssig ist, so geht die Abkühlung durch Strahlung schnell vor sich; ist die Temperatur so weit gesunken, dass eine Ausscheidung erfolgt, so wird durch die dabei frei werdende Wärme die Abkühlung verzögert, und zwar um so mehr, je grösser die innerhalb eines gleichen Temperaturintervalles sich abscheidenden Mengen sind; diese nehmen aber mit abnehmender Temperatur ab, die Abkühlung wird also erst stark, dann langsam verzögert. Ist die Temperatur so weit gesunken, dass der Schmelzpunkt Θ der Legirung a erreicht ist, so erstarrt diese und von nun an verhält sich die Substanz wie ein gewöhnlicher fester Körper. Der sogenannte zweite Schmelzpunkt Θ_1 der Legirungen ist also kein wirklicher Schmelzpunkt, sondern entspricht dem Beginn der Ausscheidung des einen Metalls aus einer bei niedrigeren Temperaturen schmelzenden Legirung.

IV. Dampfdrucke und Siedepunkte.

1. Unterschied zwischen Dampf und Gas.

Gebraucht wird: Grosser Quecksilberkasten. Stativ. Unterlegkork. Quecksilberröhre mit Napf. Quecksilber. Barometerröhre mit Papierscala. Kleiner Trichter. Stativ mit einer Gabel und zwei Klemmen. Thermometer. Aether. Unten umgebogene Pipette. Fliesspapier.

I. Einleitung. Dampf ist eine in den gasförmigen Zustand übergegangene Flüssigkeit.

Spannkraft eines Dampfes oder Dampfdruck ist der Druck, den der Dampf auf die Wände des ihn einschliessenden Gefässes ausübt (er wird gemessen durch die Depression einer Quecksilbersäule, wenn der Dampf die Torricelli'sche Leere über derselben erfüllt).

II. Apparat. Zu den Versuchen dient ein etwa $2^1/_2$ cm weites, 80 cm langes, unten verschlossenes Rohr, welches sich oben erweitert und mit Quecksilber gefüllt in verticaler Lage befestigt wird. In die als Quecksilberwanne dienende Erweiterung wird eine graduirte Barometerröhre getaucht.

III. **Uebung.** 1) Man füllt das graduirte Rohr mit Quecksilber, entfernt die an den Wänden adhärirenden kleinen Luftblasen durch langsames Hin- und Hergleitenlassen (vergl. S. 100) einer grösseren, oder dadurch, dass man die Luftblasen in das Torricelli'sche Vacuum treibt (a. a. O.) und füllt den letzten Rest der Röhre, ohne Luftblasen hineinzubringen.

2) Man kehrt die Röhre in der Erweiterung des erwähnten Rohres unter Quecksilber um und liest den Stand des so erhaltenen Barometers b ab.

3) Man lässt eine Luftblase in das Rohr treten, klemmt es im Stativ ein und liest den Stand wieder ab; er sei b'.

4) Man stellt einen an dem Stativ verschiebbaren Zeiger auf die Höhe der Quecksilbersäule bei einer bestimmten Stellung des Barometerrohres ein und hebt und senkt das Barometerrohr; das Niveau steigt und fällt. Bei Vergrösserung des Raumes über dem Quecksilber, welcher von der Luft erfüllt ist, wird der Druck der abgeschlossenen Luft (gemessen durch die Depression $b - b'$) geringer, bei Verkleinerung wächst er, und zwar nach dem Boyle-Mariotte'schen Gesetz (s. o. S. 78).

5) Prüfung des Boyle-Mariotte'schen Gesetzes. Man misst das Volumen V über der Quecksilberkuppe und den Druck D (Barometerstand weniger jeweilige Höhe der Quecksilbersäule).

Beispiel:

$V =$	28	24	20	16	12	8	4	$D =$	2	$2^1/_2$	3	4	5	8	16 cm
$VD =$			56		60		60		64		60		64		64

also nahezu constant:

$$V \times D = Const.$$

6) Man füllt das Barometer aufs Neue und bringt mittelst einer unten umgebogenen Pipette etwas Aether hinein, indem man in die obere Oeffnung der Pipette hineinbläst.

7) Man misst die Quecksilberhöhe b'', die Depression ist dann $d = b - b''$. Ueber der Quecksilberkuppe befindet sich eine kleine Flüssigkeitssäule, deren Gewicht zu vernachlässigen ist. Die Depression rührt also allein von dem Drucke des Dampfes her, also ist der Druck des Aetherdampfes bei der Zimmertemperatur $d = b - b''$ cm.

8) Man stellt den Zeiger auf die Höhe der Quecksilbersäule bei einer bestimmten Stellung des Barometerrohres ein und senkt und hebt das Barometerrohr; das Niveau bleibt sehr nahe (wenn man die Volumenvergrösserung nicht zu weit treibt) constant, so lange noch flüssiger Aether im Rohre vorhanden ist. Bei der Volumenverminderung verdichtet sich so viel Dampf wieder zu der Flüssigkeit, aus der er sich entwickelt hatte, dass der Druck immer derselbe bleibt; bei Volumenvergrösserungen entwickeln sich so lange Dämpfe, als Flüssigkeit überhaupt noch vorhanden ist, und zwar immer in dem Maasse, dass der Druck nicht sinkt.

Der Aetherdampf befindet sich im Maximum seines Dampfdruckes (seiner Spannkraft); die gefundene Depression misst zugleich den maximalen Dampfdruck (die Maximalspannkraft).

Beispiel: $b = 73$; $b'' = 37$. $d = 36$ bei $t = 15^0$.

Allgemeines.

Der maximale Dampfdruck ist abhängig von der Temperatur (er steigt bei Aether schon beträchtlich beim Anlegen der Hand an das Rohr, welches den Aether enthält).

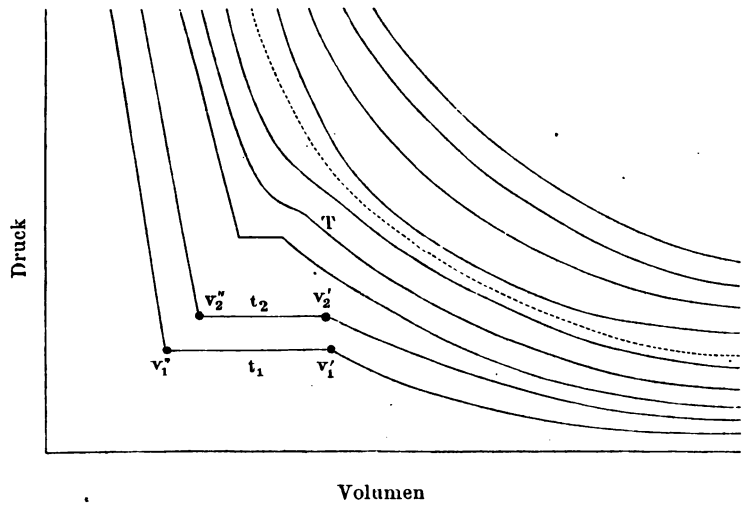
Dämpfe, welche das Maximum des (von der Temperatur abhängigen) Dampfdruckes erreicht haben, nennt man gesättigte Dämpfe.

Ist der Raum so gross geworden, dass alle Flüssigkeit verdampft ist, so folgen die Dämpfe bei weiterer Volumvermehrung (die sogenannten überhitzten Dämpfe) dem Gesetz von Boyle.

Die Beziehungen zwischen Druck und Volumen eines Gases, Dampfes und einer Flüssigkeit verfolgt man am besten an einer graphischen Darstellung, Fig. 83 (a. f. S.), bei der als Abscissen die Volumina, als Ordinaten die Drucke gewählt sind. Verringert man bei einer niedrigen Temperatur t

das Volumen, ausgehend von einem grossen, nur von Dampf erfüllten Volumen, so nimmt zunächst für kleine Volumenänderungen der Druck langsam zu, bei einem bestimmten Volumen v' und einem bestimmten Druck beginnt der Dampf sich zu condensiren. Bis aller Dampf in den flüssigen Zustand übergegangen ist, ändert sich der Druck nicht; dann, im flüssigen Zustande, entsprechen kleinen Volumenänderungen grosse Druckänderungen. Je höher die Temperatur ist, um so höher ist der Druck, bei dem die Condensation beginnt, um so kleiner der Unterschied ($v_1' - v_1''$, $v_2' - v_2''$) der Volumina (v_1', v_2') des Dampfes unmittelbar vor dem Beginn der Condensation und der Flüssigkeit (v_1'', v_2'') unmittelbar nach Vollendung derselben, durch den der Dampfzustand von dem Flüssigkeitszustande unterschieden ist. Bei einer bestimmten Temperatur

Fig. 83.



T, der sogenannten kritischen Temperatur, wird dieser Unterschied gleich Null, der Dampf geht continuirlich in die Flüssigkeit über, beide sind nicht von einander zu unterscheiden, das Volumen, bei dem bei einer um unendlich wenig niedrigeren Temperatur die Condensation eintritt, heisst das kritische Volumen, und der entsprechende Druck, bei dem dies stattfindet, der kritische Druck.

2. Bestimmung der Dampfdrucke.

Gebraucht wird: Barometerrohr mit Mantel; Quecksilber; Thermometer; unten umgebogene Pipette; Aether; Kathetometer; Barometer; Topf mit warmem Wasser.

I. Princip. Man bringt in das Torricelli'sche Vacuum einer Barometerröhre A die auf ihren Dampfdruck zu untersuchende Flüssigkeit, erhitzt dieselbe sammt der in dem Rohr enthaltenen Quecksilbersäule

auf t^0 und bestimmt die Höhe h der Quecksilbersäule. Dann ist der Dampfdruck d gleich dem auf 0^0 reducirten Barometerstand b, minus der auf Null Grad reducirten Quecksilbersäule h; die reducirte Säule sei H, d. h.:

$$d = b - H.$$

Hierin ist $H = s \frac{h}{s_0}$, wo s_0 das specifische Gewicht bei 0^0, s das specifische Gewicht des Quecksilbers für die Temperatur t ist; zur Berechnung dient die folgende Tabelle.

Tabelle. Specifisches Gewicht des Quecksilbers s bei verschiedenen Temperaturen t:

t	s	t	s
0^0	13,595	40^0	13,497
5^0	13,583	50^0	13,473
10^0	13,571	60^0	13,449
15^0	13,558	70^0	13,424
20^0	13,546	80^0	13,400
25^0	13,534	90^0	13,376
30^0	13,522	100^0	13,352

II. Apparat: Ein mit Quecksilber gefülltes Barometerrohr A wird in einer Quecksilberwanne umgekehrt, über dasselbe ein cylindrisches Glasrohr B als Mantel geschoben, das an seinem unteren Ende durch einen doppelt durchbohrten Kork verschlossen ist. Durch die eine Durchbohrung geht ein Rohr A, durch die andere ein U-förmig umgebogenes Glasrohr α, dessen einer Schenkel bündig mit dem Kork abschneidet, dessen anderes Ende höher liegt, als das obere Ende des Rohres B; an dem letzteren trägt es einen Trichter. Das obere Ende von B ist ebenfalls mit einem doppelt durchbohrten Kork versehen, durch die eine Durchbohrung geht ein aussen nach unten umgebogenes Glasrohr β, durch die andere ein Glasrohr, das als Führung für einen Rührer dient. Das Mantelrohr ist mit Wasser gefüllt, in dem ein Thermometer hängt. Neben dem Apparat wird die S. 99 beschriebene Vorrichtung zur Messung der Quecksilbersäulen aufgehängt, oder in passender Entfernung ein Kathetometer aufgestellt.

III. **Uebung.** 1) Man füllt das Mantelrohr mit kaltem Wasser und liest die Höhe der Quecksilbersäule in A ab.

2) Man bringt mit einer unten umgebogenen Pipette soviel Aether in das Vacuum der geneigten Röhre A (s. bei Dampfdichte nach Hofmann S. 101), dass nach dem Verticalstellen derselben noch nicht aller Aether verdampft ist. Die Quecksilbersäule sinkt. Man liest nach längerem Rühren ihre Höhe h_1 und die Temperatur des Wassers t_1 ab.

3) Man bringt noch etwas Aether hinein; die Stellung der Quecksilbersäule ändert sich nicht. Der Dampfdruck ist unabhängig von der Menge vorhandener Flüssigkeit.

4) Man giesst durch das Rohr α etwas warmes Wasser ein (das überschüssige fliesst aus β ab), so dass das Thermometer um etwa 5^0

steigt, und bestimmt die Höhe der Quecksilbersäule h_2 und die Temperatur t_2.

5) Man verfährt in derselben Weise, indem man die Temperatur jedesmal um etwa 5^0 steigen lässt, wobei aber immer noch flüssiger Aether vorhanden sein muss.

6) Man liest den Barometerstand ab und reducirt ihn, sowie die Höhen h_1 und h_2 auf 0^0.

7) Man berechnet den Dampfdruck und stellt a) die zusammengehörigen Temperaturen und Dampfdrucke zu einer Tabelle zusammen; b) zeichnet eine Curve, indem man als Abscissen die Temperaturen, als Ordinaten die Dampfdrucke wählt. Man sieht aus derselben, wie mit steigender Temperatur die Dampfdrucke sehr viel schneller als die Temperaturen wachsen. Zum Vergleiche der erhaltenen Zahlen dienen folgende Tabellen:

Tabelle. Dampfdrucke d des gesättigten Aetherdampfes bei verschiedenen Temperaturen:

t	d	t	d
0^0	184 mm	20^0	433 mm
5^0	231 „	25^0	526 „
10^0	287 „	30^0	635 „
15^0	354 „	35^0	761 „

In entsprechender Weise ergeben sich für das Wasser folgende Werthe des Dampfdruckes:

Tabelle. Dampfdrucke d des gesättigten Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen t.

Temperatur	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Cubikmeter Luft	Temperatur	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes	Gewicht des Wasserdampfes in 1 Cubikmeter Luft
	mm	gr		mm	gr
-20^0	0,927	1,2	13^0	11,162	11,2
-15	1,400	1,8	14	11,908	11,9
-10	2,093	2,5	15	12,699	12,6
-5	3,113	3,5	16	13,536	13,5
0	4,600	4,8	17	14,421	14,3
1	4,940	5,2	18	15,357	15,2
2	5,302	5 6	19	16,346	16,1
3	5,687	5,9	20	17,391	17,0
4	6,097	6,3	21	18,495	18,1
5	6,534	6,7	22	19,659	19,3
6	6,998	7,2	23	20,888	20,4
7	7,492	7,7	24	22,184	21,5
8	8,017	8,3	25	23,550	22,7
9	8,574	8,8	26	24,988	24,2
10	9,165	9,3	27	26,505	25,9
11	9,792	10,0	28	28,101	27,5
12	10,457	10,6	29	29,782	30,0

3. Bestimmung des Siedepunktes.

I. Princip. Sobald der Dampfdruck einer Flüssigkeit durch Steigerung der Temperatur so gross geworden ist, dass er sowohl den äusseren Druck, als auch denjenigen der auf dem Boden des Erhitzungsgefässes lastenden Flüssigkeitssäule (welch letztere indessen sehr klein sei) zu überwinden vermag, so tritt an dem Boden eine Dampfentwickelung, ein Sieden ein. Die Temperatur, bei der dies stattfindet, heisst die Siedetemperatur. Dieselbe ist gleich der Temperatur, welche die Flüssigkeit hat, die sich aus den Dämpfen durch Condensation bildet. Befindet sich eine Flüssigkeit in einem sorgfältig gereinigten Gefässe, und ist sie durch vorheriges Auskochen luftfrei gemacht, so lässt sie sich über ihren Siedepunkt, ohne dass das Sieden eintritt, erhitzen, sie lässt sich überhitzen; ein in dieselbe eingetauchtes Thermometer zeigt also eine höhere Temperatur, als die normale Siedetemperatur an; dagegen ist die Temperatur der sich condensirenden Dämpfe genau gleich dem Siedepunkt.

Fig. 84.

Fig. 85.

Die Siedepunkte sind vom Druck abhängig. Die Siedepunkte des Wassers für verschiedene Drucke giebt die Tabelle S. 147.

II. Apparat. a) Zur Bestimmung des Siedepunktes bei dem herrschenden Barometerstande dient folgender Apparat. An den Hals *B* eines kleinen Kolbens *A*, in den das Thermometer eingesetzt ist, ist ein seitliches Rohr *C* schräg nach unten angesetzt. Ueber *C* schiebt man zum Auffangen der aus den Dämpfen sich condensirenden Flüssigkeit einen Kolben und zwar bei hochsiedenden

Flüssigkeiten direct, bei niedrigsiedenden unter Zwischenschaltung eines Kühlers.

b) Will man den Siedepunkt von Flüssigkeiten bei verschiedenen Drucken bestimmen, so nimmt man den Apparat (Fig. 85 a. v. S.), lässt aber den Draht γ nebst dem Pyknometer δ fort, event. das Capillarrohr β.

Uebung. 1) Man bringt die Flüssigkeit in das Kölbchen und wirft ein paar Platinschnitzel oder einige Tarirgranaten hinein, um das Sieden regelmässiger zu machen.

2) Man erhitzt, bis das Thermometer in den Dämpfen eine constante Temperatur T zeigt.

3) Man liest den Barometerstand ab. Dann ist T der Siedepunkt beim Barometerstand b.

Die Uebung wird ausgeführt für Wasser, Aethyl- und Amylalkohol.

Allgemeines.

1. Der Siedepunkt ist eine für reine Substanzen besonders charakteristische Grösse.

2. Die Siedepunkte der Elemente stehen in naher Beziehung zu deren Stellung auf der Curve, welche das Atomvolum als Function des Atomgewichts darstellt (Fig. 75). Jedes Element, das ein grösseres Atomvolumen besitzt, als das ihm unmittelbar mit nächst kleinerem Atomgewicht vorhergehende, ist leichtflüssig und flüchtig, umgekehrt ist dasjenige strengflüssig und schwerflüchtig, dessen Atomvolumen kleiner oder doch nicht grösser ist, als das des vorhergehenden Elements mit nächst kleinerem Atomgewicht.

3. Die Siedepunkte SP. der obigen zwei Alkohole ergeben sich bei $b = 760$ mm für C_2H_6O SP. $= 78{,}5$, $C_5H_{10}O$ SP. $= 130$. Bei einem Ersatz von H durch CH_3 wächst bei diesen Alkoholen der Siedepunkt um etwa 19^0. Derselbe Satz gilt sehr angenähert für die Fettsäuren. Doch ist er nicht allgemein gültig, ja in einzelnen Fällen ruft sogar der Eintritt von CH_3 statt H eine Siedepunktserniedrigung hervor, so bei

$C_2H_4(OH)_2$	SP. $= 197$,
$C_2H_3(CH_3)(OH)_2$	SP. $= 188$,
$C_2H_2(CH_3)_2(OH)_2$	SP. $= 183$.

Für die verschiedenen Gruppen organischer Verbindungen und für die verschiedenen Arten der Substitution ist eine grosse Anzahl von Regelmässigkeiten aufgestellt worden, welche sich aber noch nicht zu einheitlichen Gesetzen zusammenfassen lassen.

V. Hygrometrie[1]).

Gebraucht wird: Ein Aspirator, oben und unten mit Hahn versehen, von 13 bis 15 Liter Inhalt; zwei Chlorcalciumröhren von 1 bis 2 cm Weite und 15 bis 20 cm Länge, wie sie bei organischen Analysen benutzt werden, Verbindungsschläuche dazu; feine Waage mit Gewichtssatz.

Daniell's Thaupunkthygrometer mit Aetherflasche.

Das Döbereiner-Regnault'sche Hygrometer mit entsprechenden Schlauchverbindungen zum Aspirator (event. einem zweiten Aspirator).

Das August'sche (Differential-)Psychrometer.

Das Saussure'sche Haarhygrometer mit Stativ.

Ein Glasfenster von 40 × 60 cm in einem Holzrahmen mit Füssen.

Abflussgefässe für die Aspiratoren.

1. Directe Bestimmung der mittleren Luftfeuchtigkeit durch Wägung.

Princip, Apparat und Uebung. 1) Ein durch die ausgeflossene Wassermenge bestimmtes Luftvolumen wird mittelst eines Aspirators von V *l* Inhalt (vgl. Fig. 86, a. f. S.) durch ein mit wasserfreiem, porösem Chlorcalcium gefülltes Rohr langsam hindurchgesogen (13 Liter in circa $1^1/_2$ Stunden); zwischen diesem Chlorcalciumrohr I und dem Aspirator ist noch ein zweites Chlorcalciumrohr eingeschaltet, um die Feuchtigkeit des Aspirators von dem ersten abzuhalten; man liest am Anfang und am Ende des Versuchs die Lufttemperaturen t_1 und t_2 ab.

2) Die Gewichtszunahme des Rohres I wird durch eine Wägung vor dem Versuch (G_1) und eine nach demselben (G_2) bestimmt; der Differenz $g' = G_2 - G_1$ entspricht die Wasserdampfmenge in V *l*.

Die im Cubikmeter = 1000 l enthaltene Wasserdampfmenge ist dann:

$$g = (G_2 - G_1)\frac{1000}{V}.$$

[1]) Wir behandeln die Hygrometrie etwas ausführlicher, weil sowohl der Physiker als auch der in die Praxis gehende Chemiker, z. B. in Leimfabriken, Spinnereien etc., mannigfach gezwungen ist, den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu bestimmen.

3) Die Tabelle S. 158 giebt die dieser im Cubikmeter enthaltenen Feuchtigkeitsmenge entsprechende Sättigungstemperatur τ (Thaupunkt), für welche in diesem Falle die Luft gesättigt wäre. Um dieselbe zu finden, schreitet man auf der durch die Grammzahl g bezeichneten Horizontalreihe bis zur Colonne „Temperatur" fort. Den zugehörigen Dampfdruck d liefert die zweite Columne.

Fig. 86.

Aus den Temperaturen t_1 und t_2 ergiebt sich die mittlere Temperatur der Luft während der Beobachtung

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

und aus der Tabelle, S. 158, der ihr entsprechende Maximaldampfdruck D mm.

Statt durch den wahren Dampfdruck d kann man die in der Luft vorhandene Wasserdampfmenge durch die relative Luftfeuchtigkeit bestimmen. Die relative Feuchtigkeit ist das procentische Verhältniss der wirklich vorhandenen Dampfmenge (gemessen durch d) zu der Dampfmenge, welche die Luft enthalten würde, wenn sie bei der herrschenden Temperatur t gesättigt wäre (gemessen durch D). Die relative Luftfeuchtigkeit ist also

$$f = \frac{d}{D}\ 100 \text{ Proc.}$$

Beispiel: $G_1 = 35{,}974$ g; $G_2 = 36{,}100$ g; $g' = G_2 - G_1 = 0{,}126$; $V = 13$ l, also:

$$g = 0{,}126\ \frac{1000}{13} = 9{,}7 \text{ g.}$$

Aus der Tabelle, S. 158, ergiebt sich: $\tau = 10{,}5^0$ und $d = 9{,}5$ mm. Es war $t_1 = 17{,}8$, $t_2 = 19{,}25$, $t = 18{,}5^0$, also die entsprechende Maximalspannung $D = 15{,}9$ mm. Die relative Feuchtigkeit f beträgt demnach:

$$\frac{9{,}5}{15{,}9}\ 100 = 59{,}8 \text{ Proc.}$$

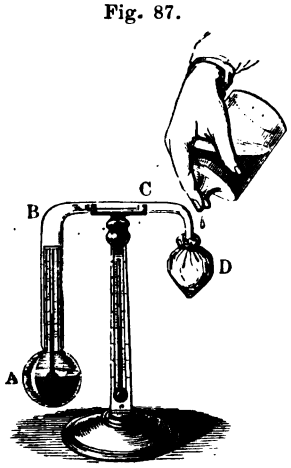
Bemerkung. Die sich hier ergebenden Zahlen sind Mittelwerthe der Feuchtigkeit während der Versuchsdauer. Um die Luftfeuchtigkeit in einem gegebenen Augenblick zu bestimmen, muss man sich einer der folgenden Methoden bedienen. Da der Wassergehalt der Luft sich fortwährend ändert, so sind auch die hier erhaltenen Zahlen nicht mit den im Folgenden ermittelten Werthen direct vergleichbar, selbst wenn die Feuchtigkeitsbestimmungen nach beiden Methoden zu gleicher Zeit angestellt werden.

2. Daniell's Hygrometer.

I. Princip. Wir bestimmen den Feuchtigkeitsgehalt der Luft in einem bestimmten Zeitpunkte dadurch, dass wir die Temperatur der Luft ermitteln, bei welcher die vorhandene Dampfmenge eben hinreichen würde, die Luft vollständig zu sättigen; bei ihr schlägt sich der Wasserdampf in flüssiger Form an allen den Stellen nieder, an denen die Temperatur auch nur um einen ganz geringen Betrag unter diesen Punkt (Thaupunkt) sinkt.

II. Apparat. Das Daniell'sche Hygrometer besteht aus zwei durch das weite, zweimal rechtwinklig umgebogene Glasrohr $B\,C$ (Fig. 87) verbundenen Glaskugeln A und D, von denen A zur Hälfte mit Aether gefüllt ist. Aus dem Apparat ist die Luft entfernt, so dass in ihm ausser dem flüssigen Aether nur Aetherdämpfe von einem Dampfdruck vorhanden sind, welcher der augenblicklichen Temperatur t entspricht. Diese kann man an dem an der Säule angebrachten Thermometer ablesen. Das in BA befindliche Thermometer giebt die Temperatur des Aethers in A, und, da die Glaswand von A dünn ist, auch die Temperatur der Kugel A selbst an. A ist aussen zum Theil mit einer dünnen, vollkommen spiegelnden ringförmigen Goldschicht umkleidet, D mit feiner Leinwand umwickelt. Um das Instrument nicht durch die Feuchtigkeit des Athems des Beobachters zu beeinflussen, wird dasselbe durch eine Glasscheibe hindurch abgelesen.

Fig. 87.



III. **Uebung.** Man liest die Temperatur der Luft t ab. Man tröpfelt auf D Aether, dann kühlt sich bei der raschen Verdunstung desselben die Kugel D und damit die in ihr enthaltenen Aetherdämpfe ab, welche zum Theil condensirt werden.

In das dadurch entstehende partielle Vacuum destillirt aus A nach D Aether[1]). Bei dem Verdampfen des Aethers wird Wärme verbraucht, die der Kugel A entzogen wird. Diese kühlt sich ab.

An dem in A eintauchenden Thermometer verfolgt man stetig das

[1]) Wenn sich nach längerem Gebrauch in D eine grössere Menge Aether gesammelt hat, muss man durch Neigen des Instrumentes diesen Aether nach A zurückbringen.

Sinken der Temperatur und bestimmt die Temperatur τ, bei welcher sich auf der blanken Goldfläche ein leichter Hauch zeigt.

Man controlirt diese Ablesung dadurch, dass man bei dem nach einiger Zeit eintretenden Steigen der Temperatur in A die Temperatur ermittelt, bei welcher der Beschlag wieder verschwindet. Der Versuch wird mehrmals aufsteigend und absteigend wiederholt und durch passendes Regeln des Befeuchtens von D die Unterkühlung von A unter den Thaupunkt möglichst klein gemacht.

IV. Berechnung. Die Tabelle, S. 158, giebt zu dem gefundenen Thaupunkt den wirklich vorhandenen Dampfdruck d, sowie den wahren Gehalt g eines Cubikmeters Luft an Wasser in Grammen. Sucht man zu der gleichzeitig abgelesenen Lufttemperatur t den zugehörigen Maximaldampfdruck D auf, dann ist die relative Feuchtigkeit:

$$f = \frac{d}{D}\,100.$$

Beispiel. Bei einer Lufttemperatur von $t = 18{,}2^0$ beschlug die abgekühlte Kugel A, als ihr Thermometer $12{,}1^0$ zeigte. Der Thaupunkt τ ist also $= 12{,}1$, der Dampfdruck $d = 10{,}5$ mm, der Gehalt an Wasserdampf $g = 10{,}7$ g im Cubikmeter. Luft von $18{,}2^0$ könnte Wasser in Dampfform gerade noch enthalten, wenn der Dampfdruck $D = 15{,}4$ mm ist, demnach war die relative Feuchtigkeit im Momente der Beobachtung $f = \frac{10{,}5}{15{,}4}\,100 = 68{,}2$ Proc. der maximalen.

3. Das Döbereiner-Regnault'sche Hygrometer.

I. Princip und Apparat. Das mit dem unteren Ende in eine versilberte Metallkappe eingekittete Reagensglas a wird mit Aether etwa so weit, wie es die Fig. 88 zeigt, gefüllt und derselbe dadurch verdampft und abgekühlt, dass mittelst eines mit dem Kautschukschlauch h verbundenen Aspirators Luft hindurch gesaugt wird (Fig. 88).

In den Aether in a taucht das Thermometer c ein, die Lufttemperatur t zeigt das in b befestigte Thermometer d an. b ist wie a mit einer versilberten Kappe versehen, welche die sichere Erkennung des Beginnes des Niederschlages auf a durch den Vergleich erleichtert.

II. Uebung. 1) Man lässt das Wasser aus dem Aspirator ausfliessen, verfolgt das Sinken der Temperatur in a und beobachtet diejenige Temperatur τ, bei der der Beschlag eben zu sehen ist.

2) Durch geeignetes Regeln des Wasserausflusses aus dem Aspirator erhält man die Temperatur des Gefässes a dauernd auf dem Thaupunkte.

3) Man liest die Temperatur τ in a ab, bei der ein ganz leichter Hauch auf der polirten Silberfläche entsteht, der bei einer ganz geringen Temperatursteigerung sofort wieder verschwindet.

Alles andere wie unter 2.

Beispiel: $\tau = 13{,}5$; $d = 11{,}4$ mm. $g = 11{,}5$ g; $t = 19{,}2$; $D = 16{,}7$ mm; $f = \frac{11{,}4}{16{,}7} \cdot 100 = 68$ Proc.

4. Das (Differential-)Psychrometer nach August.

I. Princip. Bei diesem Instrumente dient als Maass der Feuchtigkeit der Luft die Schnelligkeit der Verdunstung, die um so grösser ist, je trockener die Luft, d. h. je geringer ihr Gehalt an Wasserdampf ist. Die Schnelligkeit der Verdunstung wird aus der durch sie bedingten Abkühlung ermittelt. Da der Zusammenhang zwischen Verdunstungsschnelligkeit, Abkühlung und Feuchtigkeitsgehalt sehr complicirt ist, so geben wir keine Formeln, sondern eine nach denselben berechnete Tabelle (s. S. 166).

II. Apparat. Von zwei an demselben Stative befestigten, gleichen Thermometern *A* und *B* (Fig. 89) ist die Kugel des einen, *B*, mit einer feinen Leinwandhülle *D* umkleidet, die durch einen angenähten Docht

Fig. 88.

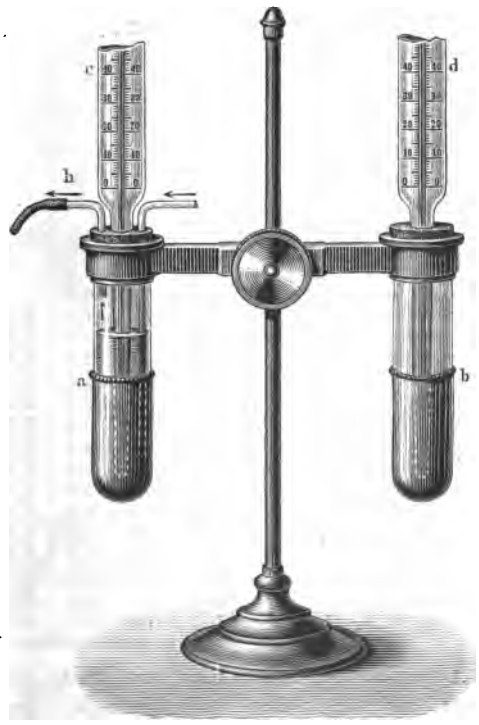
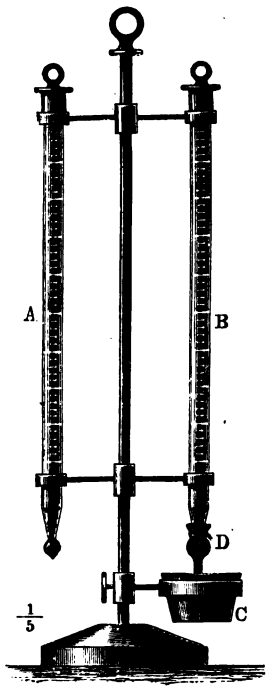


Fig. 89.



mit dem mit Wasser gefüllten Gefässe C in Verbindung steht. Das Wasser steigt im Docht zu der Hülle D empor und hält sie dauernd feucht. In Folge der hier fortwährend stattfindenden Verdunstung des Wassers kühlt sich D und damit auch das Thermometer R ab; das feuchte Thermometer B steht tiefer als das trockene Thermometer A, welches die Lufttemperatur anzeigt.

Aus der beobachteten Differenz δ der Temperatur des Thermometers B und der Lufttemperatur t findet man die in einem Cubikmeter Luft enthaltene Dampfmenge in Grammen aus der Tabelle:

t	$\delta = 0^0$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
— 10	2,9	2,1	1,3	0,6								
— 9	3,1	2,3	1,5	0,7								
— 8	3,3	2,5	1,7	0,9	0,1							
— 7	3,5	2,7	1,9	1,1	0,3							
— 6	3,7	2,9	2,1	1,3	0,5							
— 5	4,0	3,1	2,3	1,5	0,7							
— 4	4,2	3,4	2,5	1,7	0,9	0,1						
— 3	4,5	3,6	2,8	1,9	1,1	0,3						
— 2	4,8	3,9	3,0	2,2	1,4	0,5						
— 1	5,1	4,2	3,3	2,4	1,6	0,8						
0	5,4	4,5	3,6	2,7	1,9	1,0	0,2					
+ 1	5,7	4,7	3,8	2,9	2,1	1,2	0,4					
+ 2	6,1	5,1	4,1	3,2	2,3	1,4	0,5					
+ 3	6,5	5,4	4,4	3,4	2,5	1,6	0,7					
+ 4	6,9	5,8	4,8	3,7	2,7	1,8	1,0					
+ 5	7,3	6,2	5,1	4,1	3,1	2,1	1,2	0,3				
+ 6	7,7	6,6	5,5	4,5	3,4	2,4	1,4	0,5				
+ 7	8,2	7,0	5,9	4,9	3,8	2,8	1,8	0,8				
+ 8	8,7	7,5	6,4	5,3	4,2	3,2	2,1	1,1	0,2			
+ 9	9,2	8,0	6,9	5,7	4,6	3,6	2,5	1,5	0,5			
+ 10	9,7	8,5	7,3	6,2	5,1	4,0	2,9	1,9	0,9			
+ 11	10,3	9,1	7,9	6,7	5,6	4,4	3,3	2,3	1,2	0,2		
+ 12	10,9	9,7	8,4	7,2	6,0	4,9	3,8	2,7	1,7	0,6		
+ 13	11,6	10,3	9,0	7,8	6,6	5,4	4,3	3,1	2,1	1,0		
+ 14	12,2	10,9	9,6	8,3	7,1	5,9	4,8	3,6	2,5	1,4	0,4	
+ 15	13,0	11,6	10,3	9,0	7,7	6,5	5,3	4,1	3,0	1,9	0,8	
+ 16	13,7	12,3	10,9	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,5	2,4	1,3	0,2
+ 17	14,5	13,1	11,6	10,3	9,0	7,7	6,4	5,2	4,0	2,9	1,7	0,7
+ 18	15,3	13,8	12,4	11,0	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,4	2,2	1,1
+ 19	16,2	14,7	13,2	11,7	10,3	9,0	7,7	6,4	5,1	3,9	2,8	1,6
+ 20	17,1	15,5	14,0	12,5	11,1	9,7	8,3	7,0	5,8	4,5	3,3	2,2
+ 21	18,1	16,5	14,9	13,4	11,9	10,5	9,1	7,7	6,4	5,1	3,9	2,7
+ 22	19,1	17,4	15,8	14,2	12,7	11,2	9,8	8,4	7,1	5,8	4,5	3,3
+ 23	20,2	18,5	16,8	15,2	13,6	12,1	10,6	9,2	7,8	6,4	5,2	3,9
+ 24	21,3	19,5	17,8	16,1	14,5	12,9	11,4	10,0	8,5	7,2	5,8	4,5
+ 25	22,5	20,6	18,9	17,1	15,5	13,8	12,3	10,8	9,3	7,9	6,5	5,2
+ 26	23,8	21,8	20,0	18,2	16,5	14,8	13,2	11,6	10,1	8,7	7,3	5,9
+ 27	25,1	23,1	21,2	19,3	17,5	15,8	14,2	12,6	11,0	9,5	8,1	6,7
+ 28	26,4	24,4	22,4	20,5	18,7	16,9	15,2	13,5	11,9	10,4	8,9	7,5
+ 29	27,9	25,8	23,7	21,7	19,8	18,0	16,3	14,6	12,9	11,3	9,8	8,3
+ 30	29,4	27,2	25,1	23,0	21,1	19,2	17,4	15,6	13,9	12,3	10,7	9,1

Aus der so gefundenen Dampfmenge findet man mit Hülfe der Tabelle den Thaupunkt τ und die zugehörige Spannkraft d. Der

Maximaldampfdruck D und die relative Feuchtigkeit wird danach wie in den vorhergehenden Abschnitten bestimmt.

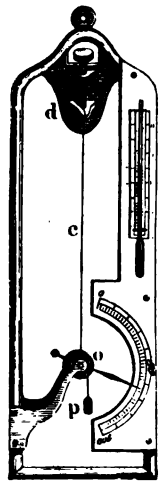
III. **Uebung.** Man befeuchtet das Thermometer B, indem man das Gefäss C einen Augenblick so hoch hebt, dass die Kugel von B ganz eintaucht und überlässt das Instrument eine Zeit lang sich selbst, bis die Temperatur t' des feuchten Thermometers constant geworden ist. Man muss dafür sorgen, dass die Luft an dem Instrument vorbei streicht, was man durch Hin- und Herbewegen desselben erreicht. Häufig ist der Träger der beiden Thermometer ein federnder Stab; man bewegt dann vor dem Ablesen die Thermometer dadurch, dass man den Träger zur Seite biegt und ihn zurückschnellen lässt, oder man hängt das Instrument an einem Bindfaden auf und versetzt es in Pendelschwingungen. Zuletzt wird die Lufttemperatur t abgelesen.

Beispiel: $t' = 15{,}7$; $t = 18{,}6$; $\delta = 2{,}9$. Daraus wird aus der Tafel erhalten: $g = 11{,}5$ g. Hieraus aus der Tabelle (S. 158) der Thaupunkt $\tau = 13{,}4^0$ und der wirkliche Dampfdruck $d = 11{,}5$ mm. Für $t = 18{,}6$ ist der Maximaldruck $D = 15{,}9$ mm, also die relative Feuchtigkeit $f = 72$ Proc.

5. Saussure's Haarhygrometer.

I. Princip. Viele organische Körper haben die Eigenschaft, sich auszudehnen, wenn sie Wasserdampf absorbiren. Dazu gehören unter anderen Haare, die man durch Auskochen mit sehr schwacher Kalilauge entfettet hat.

Fig. 90.



II. Apparat. Ein Haar wird in einer Zwinge bei d (Fig. 90) befestigt, um das Röllchen o geschlungen und durch ein Gegengewicht p gespannt, welches an einem um das Röllchen gewundenen Faden hängt. Mit o ist ein Zeiger verbunden, der auf einer 100 Theile umfassenden Scala spielt.

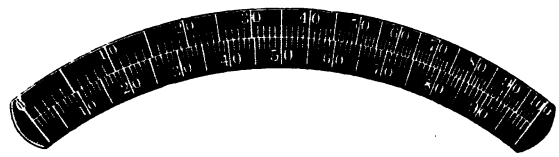
Durch die Schraube bei a wird das Haar in eine solche Stellung gebracht, dass der Zeiger auf Null zeigt, wenn das Instrument in absolut trockener Luft hängt, also unter einer Glocke, welche gleichzeitig eine grössere Schale mit concentrirter Schwefelsäure enthält. Der Durchmesser des Röllchens ist so bemessen, dass der Zeiger auf 100 zeigt, wenn das Haar in mit Wasserdampf völlig gesättigter Luft seine grösste Länge erreicht, also dann, wenn das Instrument unter eine Glocke gebracht wird, deren Wände mit destillirtem Wasser befeuchtet sind, und die gleichzeitig am Boden eine Schale mit destillirtem Wasser enthält.

Das Instrument ist von Zeit zu Zeit zu controliren, indem man in der angedeuteten Weise die Punkte für 0 und 100 Proc. Feuchtigkeit prüft[1]).

Die Theilstriche zwischen 0 und 100 geben an, wie viel Procent des maximalen Dampfgehaltes in jedem Augenblick in der Luft enthalten sind, also die relative Feuchtigkeit. Da die Länge des Haares mit wachsender Feuchtigkeit anfangs schneller, allmählich aber immer langsamer wächst, so werden die Scalentheile mit wachsenden Zahlen immer kleiner. Die Scala ist vom Verfertiger auf Grund vergleichender Versuche entworfen; der gesuchte Feuchtigkeitswerth kann also direct abgelesen werden.

An älteren Haarhygrometern findet man noch vielfach Scalen, bei denen der Bogen zwischen 0 und 100 in 100 gleiche Theile getheilt ist. Hier giebt der vom Zeiger bezeichnete Scalentheil nicht unmittelbar den Feuchtigkeitsgehalt; derselbe muss vielmehr erst durch Vergleichung mit einer empirischen Scala bestimmt werden, Fig. 91, in welcher die

Fig. 91.



untere Theilung die gleich weit von einander abstehenden Theilstriche des Hygrometers, die obere die entsprechenden Hygrometergrade angiebt. Aus ihr ersieht man z. B., wenn der Zeiger eines der erwähnten Hygrometer auf 60 zeigt, dass dann die relative Feuchtigkeit nur 45 Proc. beträgt.

III. **Uebung.** Man befestigt das Hygrometer hinter der Glasscheibe an einem Stativ und macht eine Reihe von Ablesungen A, während gleichzeitig der mittlere Feuchtigkeitsgehalt direct durch Wägung (nach 1) ermittelt wird, und berechnet mit Hülfe der Doppelscala, Fig. 91, den relativen Feuchtigkeitsgehalt f.

Beispiel:

	1.	2.	3.	4.	5.	
A =	73,8	74,2	74,1	74,5	75,0	Scalentheile,
f =	63,9	64,3	64,2	64,8	65,4	Procent,

also mittlere Feuchtigkeit während der Dauer der Beobachtungen:

$f = 64{,}5$ Proc.

[1]) Das zu den Uebungen benutzte Hygrometer ist in dieser Weise justirt und geprüft, also ist keine Aenderung an der Schraubenstellung bei a vom Praktikanten vorzunehmen.

VI. Gefrierpunktserniedrigungen von Lösungen.

Gebraucht wird: Der Beckmann'sche Apparat (Fig. 92) mit zwei Gefriergefässen *A* und Thermometer; Glaseimerchen zum Abwägen und Messingfuss für dieselben (Fig. 59); Stativ mit Rolle und Schnur; Kochsalz, Eis oder Schnee; Pikrinsäure, Chlorkalium, Rohrzucker; Waage und Gewichte.

Einleitung. Löst man in einer Flüssigkeit einen festen oder flüssigen Körper, so wird dadurch die Erstarrungstemperatur, der Gefrierpunkt derselben, erniedrigt.

Liegt die Erstarrungstemperatur einer Lösung von G g Substanz in 100 g Lösungsmittel um Δ^0 niedriger als diejenige des reinen Lösungsmittels, so ist unter der Annahme, dass Δ proportional der Menge G der gelösten Substanz ist (s. w. u.):

$$e = \frac{\Delta}{G}$$

die durch 1 g Substanz hervorgebrachte Erniedrigung der Erstarrungstemperatur. Dieselbe ist bei verdünnten Lösungen eine von der Concentration nahezu unabhängige Grösse.

Multiplicirt man die specifische Gefrierpunktserniedrigung, die eintritt, wenn in 100 g Lösungsmittel 1 g Substanz gelöst ist, mit dem Moleculargewicht M der gelösten Substanz, so erhält man diejenige Gefrierpunktserniedrigung, welche eintreten würde, wenn eine dem Moleculargewicht M entsprechende Menge in 100 g Lösungsmittel enthalten wäre; man erhält die moleculare Gefrierpunktserniedrigung

$$\Gamma = Me.$$

Für die Erniedrigung der Erstarrungstemperatur e und die moleculare Erniedrigung gelten bei verdünnten Lösungen die folgenden Sätze [nur beim Wasser zeigen sich auch in verdünnten Lösungen weitgreifende Ausnahmen (s. w. u.)].

1. Jeder Körper, der sich in bestimmten, der Erstarrung fähigen Flüssigkeiten löst, erniedrigt deren Erstarrungspunkt und zwar nahe proportional der Concentration.

2. Bei allen Flüssigkeiten nähern sich für sehr verdünnte Lösungen die molecularen Erniedrigungen des Gefrierpunktes einer für jede Flüssigkeit charakteristischen Constante Γ.

Ist T_0 der absolute Schmelzpunkt (von — 273° C. an gerechnet), W die latente Schmelzwärme, so ist:

$$\Gamma = \frac{0{,}02\, T_0^2}{W}.$$

3. Die moleculare Erniedrigung Γ variirt mit der Natur des Lösungsmittels. Sie ist bei (SmP ist der Schmelzpunkt in Celsiusgraden):

Essigsäure	$SmP = 16{,}7^0$	$\Gamma = 39$
Nitrobenzol	$SmP = 3^0$	$\Gamma = 70{,}5$
Thymol	$SmP = 48{,}55^0$	$\Gamma = 92$
Ameisensäure	$SmP = 8{,}6^0$	$\Gamma = 28$
Benzol	$SmP = 4{,}45^0$	$\Gamma = 49$
Aethylenbromid	$SmP = 9{,}5^0$	$\Gamma = 117$
Naphthalin	$SmP = 80{,}10^0$	$\Gamma = 92$
Wasser	$SmP = 0^0$	$\Gamma = 18{,}5.$

Bei Wasser liegen die Verhältnisse sehr complicirt. Die Lösungen der meisten organischen Substanzen (nicht Salze) in Wasser geben in der That einen Werth $\Gamma = 18{,}5$, die Salze der Alkalimetalle mit starken Säuren 37,0, die der Erdalkalimetalle verschiedene Werthe, so dass eine Bestimmung der molecularen Gefrierpunktserniedrigung in Wasser nur unter besonderen Umständen zur Ermittelung des Moleculargewichts verwendbar ist.

Aus der für ein Lösungsmittel bekannten Grösse Γ und der durch 1 g in 100 g Lösungsmittel gelöster Substanz erzeugten Gefrierpunktserniedrigung e bestimmt sich unter obiger Annahme durch Messung der Gefrierpunktserniedrigungen das Moleculargewicht M. Es ist nämlich

$$M = \frac{\Gamma}{e}.$$

I. Princip der Methode. Man bestimmt die Erstarrungstemperatur t_0 für das Lösungsmittel, die Erstarrungstemperatur t_1 für die Lösung von G g Substanz in 100 g Lösungsmittel, dann ist das Molecular-gewicht:

$$M = \frac{\Gamma . G}{t_0 - t_1}.$$

Hat man P g Substanz in L g Lösungsmittel gelöst, so sind in 100 g Lösungsmittel $G = 100\, P/L$ gelöst.

II. Apparat. Die zu untersuchende Substanz wird in das Gefäss A (ca. 2,5 cm weit, 21 cm lang) mit dem seitlichen Ansatz A' gebracht; A steckt in einem ca. 3,5 cm weiten Gefäss B, das Luft enthält, und dieses wiederum in einem Gefäss C (11 cm Durchmesser) aus starkem Glase, welches die Kältemischung aufnimmt. In A befindet sich ein Platinrührer r, sowie einige Platinschnitzel und das in 0,01° C. getheilte Thermometer D. Am oberen Ende des letzteren ist die Capillare umgebogen und erweitert.

Indem man durch Erwärmen grössere oder kleinere Mengen Quecksilber in die Erweiterung *e* treibt und durch einen leichten Schlag von dem darunter befindlichen Faden loslöst, kann man das Thermometer für verschiedene Temperaturen benutzen, ohne dass die Scala gar zu lang zu sein braucht.

Fig. 92.

Bei den Versuchen mit Benzol wird klein gestossenes Eis und Wasser in *C* gefüllt, bei denen mit Wasser eine Mischung von Eis und Kochsalz. Zum Ablassen des Schmelzwassers dient ein kleiner, durch die Oeffnung *a* einzuführender Heber mit Saugrohr. Der ganze Apparat steht in einer Blechwanne.

Zum Abwägen der Substanz dienen kleine Glaseimerchen von ca. 4 mm Weite und 6 mm Höhe, die beim Wägen in Messingständerchen, Fig. 59, S. 99, gestellt werden.

Der Rührer wird durch eine über eine Rolle gehende Schnur bewegt.

III. Uebung 1. Gefrierpunktserniedrigungen in Benzol. Schmelzp. bei 4,4° C. = 277,4° absolute Temperatur; latente Schmelzwärme = 29 cal., vergl. S. 210, also ist der theoretische Werth von $\Gamma = 53$. Wir legen hier den empirischen Werth $\Gamma = 49$ zu Grunde.

1) Man hängt das Gefäss *A* mit den Platinschnitzeln mittelst eines dünnen Messingdrahtes an die Waage. Gewicht P_1.

2) Man füllt etwa 18 cbcm Benzol in dasselbe und wägt wieder. Gewicht P_2.

Dann ist $P_2 - P_1 = L$ die Menge des angewandten Lösungsmittels.

3a) Man setzt das Thermometer und den Rührer in ein dem eben benutzten ähnliches, mit einer beliebigen Menge Benzol gefülltes Gefäss und kühlt dieses ab, indem man es durch die Oeffnung *b* direct in die Kältemischung setzt, bis Erstarrung eintritt, und ermittelt so zunächst angenähert den Erstarrungspunkt, nachdem man eventuell den Quecksilberfaden des Thermometers in der oben angedeuteten Weise verlängert

oder verkürzt hat, dass das Fadenende sich an einer für die Beobachtung bequem liegenden Stelle der Scala einstellt.

3b) Man setzt das Thermometer mit dem Rührer, nachdem man beide sorgfältig abgewischt hat, in das mit der abgewogenen Menge Benzol gefüllte Gefäss und bringt dieses durch *b* in die Kältemischung.

4) Man kühlt unter beständigem Umrühren in *b* bis in die Nähe des Erstarrungspunktes ab und setzt das Gefäss in den Luftmantel *B*. Das Thermometer fällt langsam und gleichmässig bis einige zehntel Grade unter den Erstarrungspunkt. Bei fortgesetztem gleichmässigem Rühren beginnt dann plötzlich das Thermometer wieder zu steigen, erst schnell, dann langsamer, und stellt sich auf einen bestimmten Punkt ein, den es dauernd inne behält; dieses ist der Erstarrungspunkt t_0.

5) Man nimmt das Gefäss *A* wieder aus dem Mantel *B* heraus, stellt es einige Zeit an die Luft und setzt es wieder in *B* ein, wenn fast alle Krystalle verschwunden sind. Die etwas über den Erstarrungspunkt t_0 gestiegene Temperatur fällt rasch wieder, dann tritt plötzlich die umgekehrte Bewegung und endlich die schliessliche Einstellung ein.

Das Rühren ist ununterbrochen fortzusetzen; sowohl bei den Erwärmungen, als auch bei den Unterkühlungen soll sich die Temperatur nicht allzu weit von der Erstarrungstemperatur t_0 entfernen.

6) Man führt die Operationen 5) einige Male aus und bildet aus den erhaltenen Zahlen das Mittel t_0.

7) Man wägt ein kleines Glaseimerchen mit dem Fuss. Gewicht p_1.

8) Wägung mit Pikrinsäure $[C_6H_2(OH)(NO_2)_3 = 229]$. Gewicht p_2. Dann ist das Gewicht der angewendeten Substanz $p = p_2 - p_1$.

9) Das Eimerchen wird mit der Pincette durch den Ansatz *A'* in das Gefäss *A* gebracht.

10) Nachdem sich alle Pikrinsäure gelöst hat, bestimmt man, wie in 4) und 5), die Erstarrungstemperatur t_1.

11) Man wägt eine zweite Menge p' Pikrinsäure ab und löst sie in dem Gefässe *A*.

12) Man bestimmt die Erstarrungstemperatur t_2.

IV. Berechnung. 1) Die Gefrierpunktserniedrigungen bei 10) und 12) sind bezw. $e_1 = t_0 - t_1$ und $e_2 = t_0 - t_2$. Die im zweiten Falle vorhandene Substanzmenge ist $P = p + p'$. Es verhält sich $P:p$ nahe wie $e_2:e_1$, Satz 1.

2) Bei dem ersten Versuch ist $G_1 = 100\,p/L$, im zweiten $G_2 = 100\,P/L$, woraus sich das Moleculargewicht *M* nach der unter I. gegebenen Formel berechnet. Man nimmt das Mittel aus beiden Bestimmungen M_1 und M_2.

Beispiel: $P_1 = 47{,}120$; $P_2 = 64{,}569$; $L = 17{,}449$ g; $t_0 = 0{,}520$, 0,522, 0,520, 0,520; Mittel 0,520; $p_1 = 6{,}319$; $p_2 = 6{,}382$; $p = 0{,}063$ g; $t_1 = 0{,}440$, 0,440, 0,440, 0,440; Mittel $t_1 = 0{,}440$; $e_1 = t_0 - t_1 = 0{,}080$; $p'_1 = 6{,}272$; $p'_2 = 6{,}340$; $p' = 0{,}068$ g; $P = p' + p = 0{,}131$; $t_2 = 0{,}365$; $e_2 = t_0 - t_2 = 0{,}155$; $P:p = 2{,}1$; $e_2:e_1 = 1{,}9$; $G_1 = 0{,}36$; $G_2 = 0{,}75$; $M_1 = 220{,}5$; $M_2 = 237$; Mittel $M = 229$.

Uebung 2. Gefrierpunktserniedrigungen in Wasser. [Schmelzpunkt bei 273 (absolut); latente Schmelzwärme 80 Cal., also $\Gamma = 19$.]

1) Man wägt ein zweites Gefriergefäss A, füllt mit Wasser und verfährt genau wie unter I. mit Chlorkalium (KCl = 74,5).

Das sich bei der Berechnung ergebende Moleculargewicht ist nur halb so gross wie das wirkliche.

Beispiel: $L = 20{,}240$; $p = 0{,}167$ g; $t_0 = 3{,}694$; $t_1 = 3{,}274$; $e = t_0 - t_1 = 0{,}420$; $G = 0{,}825$; $M = 37{,}3$. In Wirklichkeit ist $M = 74{,}6 = 2 \times 37{,}3$.

2) Man führt die Bestimmung für Rohrzucker ($C_{12}H_{22}O_{11} = 342$) durch; für das Moleculargewicht ergiebt sich der normale Werth.

Beispiel: $L = 17{,}350$; $P = 0{,}153$; $t_0 = 4{,}022$; $t_1 = 4{,}070$; $e = 0{,}048$; $G = 0{,}882$; $M = 340$.

Allgemeines.

Die Bildung von Hydraten, Benzolaten, überhaupt Verbindungen des gelösten Körpers mit Molecülen des Lösungsmittels, bei denen sich an ein Molecül des ersteren ein oder mehrere Molecüle des letzteren anlagern, ist auf die Bestimmung des Moleculargewichtes bei den in Betracht kommenden sehr verdünnten Lösungen ohne Einfluss auf das Resultat, wenn es sich nur darum handelt, zu bestimmen, ob das Moleculargewicht das einfache, doppelte oder dreifache etc. des aus der Analyse ermittelten ist. Denn dadurch, dass sich in sehr verdünnten Lösungen aus dem Lösungsmittel einige Molecüle an die gelösten Körper anlagern, wird die Concentration der Lösungen nur äusserst wenig geändert.

Anders gestaltet sich aber die Sache, wenn in der Lösung mehrere chemische Molecüle zu einem physikalischen verbunden sind; dann muss das Moleculargewicht zu gross gefunden werden. Dasselbe ist der Fall, wenn in den Hydraten etc. nicht ein Molecül der gelösten Substanz mit einem Wassermolecül zusammentritt, sondern letzteres mehrere der ersteren zusammenhält, wie dies bei vielen krystallisirten Körpern sicher der Fall ist, die in der einfachsten Weise geschrieben $^1/_2$ Molecül, oder irgend einen anderen Bruchtheil eines Molecüles Krystallwasser enthalten würden.

In diesen Fällen muss man die Gefrierpunktserniedrigung in verschiedenen Lösungsmitteln untersuchen. Findet eine solche Aneinanderlagerung statt, so werden die bei ihnen erhaltenen Werthe des Moleculargewichts wesentlich von einander abweichen. Versuche mit einem einzigen Lösungsmittel können ganz widersinnige Ergebnisse liefern.

Wir fügen noch einige Bemerkungen über die Eigenschaften der Lösungen im Wasser bei.

Concentrirte Lösungen sind im Wesentlichen nur bei Wasser untersucht worden; hier ergeben sich für e folgende Fälle. e bleibt entweder

mit wachsendem G constant, oder nimmt zu oder ab. Dabei ist es ganz gleichgültig, ob die Lösung eine nicht gesättigte, gesättigte oder übergesättigte ist, der Durchgang durch den Sättigungspunkt ändert nichts an der Erscheinung.

In dem ersten Fall ist die Gefrierpunktserniedrigung ohne Weiteres proportional dem Salzgehalt, wie schon Blagden fand (Phil. Trans. 1788, p. 143 und 311). In dem zweiten gelingt es oft, ein Hydrat mit ϱ Molecülen Wasser zu finden, für das Δ / G_ϱ constant wird, bei dem also die Erniedrigung proportional dem Gehalt G_ϱ an diesem Hydrate ist. In anderen Fällen, und wenn Δ / G abnimmt, muss man in der Lösung zwei Hydrate mit ϱ und ϱ' Molecülen H_2O annehmen, oder aber auch das Salz wie die Wismuthsalze als dissociirt in Säure und Basis ansehen, wofür ja auch z. B. beim Eisenvitriol und Zinkvitriol u. a. andere Gründe sprechen. Die Dissociation muss sich natürlich mit der Temperatur ändern.

Bei Wasser stimmt der experimentell aus den Gefrierpunktserniedrigungen gefundene und theoretisch berechnete Werth von Γ zwar bei organischen Substanzen überein ($\Gamma = 18{,}5$), bei Salzen zeigen sich aber sehr grosse Abweichungen, dabei ist der gefundene Werth stets grösser als der berechnete; gerade als ob in der Lösung mehr Molecüle enthalten wären, als sich aus der chemischen Formel ergeben würde (bei den Alkalisalzen ist z. B. $\Gamma = 37{,}0$). Um dies zu erklären, hat Arrhenius angenommen, dass die Salze in der Lösung ganz oder theilweise in ihre Bestandtheile, die Ionen (s. w. u.) zerfallen, so z. B. KCl in K und Cl. Dann würde in der That, wenn wir ein Molecül KCl lösen, in der Lösung 1 Mol. K und 1 Mol. Cl enthalten, die Zahl der Molecüle also verdoppelt sein.

VII. Erhöhung des Siedepunktes von Lösungen.

I. Princip. Löst man in einem flüchtigen Lösungsmittel einen nicht flüchtigen Stoff, so wird der Dampfdruck f des ersteren erniedrigt, er wird f', der dem herrschenden Druck entsprechende Siedepunkt T also erhöht, er wird T', und es gilt folgender Satz:

Bei gleicher, aber beliebiger Temperatur verhält sich die Verminderung des Dampfdruckes $f - f'$ zum Dampfdruck des Lösungsmittels f, die sogenannte relative Dampfdruckerniedrigung, wie die Anzahl der Molecüle des gelösten Körpers N zur gesammten Anzahl der Molecüle $n + N$, wo n die Anzahl der Molecüle des Lösungsmittels ist:

$$f - f' : f = N : n + N.$$

Die relative Dampfdruckerniedrigung ist also proportional dem Gehalt der Lösung $N/(n + N)$.

Aus diesem Satze folgt, dass, wenn in 100 g Lösungsmittel p g Substanz gelöst sind, m das Moleculargewicht des Lösungsmittels, M dasjenige des gelösten Körpers ist:

$$M = \frac{1}{100} \cdot \frac{mf'p}{f - f'} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Wenn wir in 100 g Lösungsmittel n Grammmolecüle eines fremden Körpers lösen, wenn W die Verdampfungswärme eines Grammes des Lösungsmittels ist, T_0 der Siedepunkt des Lösungsmittels, T_1 der der Lösung in absoluter Temperatur, so ist:

$$T_1 - T_0 = \frac{0{,}02\, T_0^2}{W}\, n.$$

Die Siedepunktserhöhung ist, da $n = p/M$, proportional dem Gehalt an gelöster Substanz und umgekehrt proportional deren Moleculargewicht.

Für jedes Lösungsmittel ist $\frac{0{,}02\, T_0^2}{W} = \Phi$, gleich einer constanten Grösse, die sich dadurch bestimmen lässt, dass man für die Lösung von p Grammen eines Körpers von bekanntem Moleculargewicht in 100 g Lösungsmittel die Siedepunktserhöhung bestimmt. Dann wird allgemein:

$$M = \frac{\Phi p}{T_1 - T_0} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Um das Moleculargewicht zu finden, bestimmt man entweder f und f' und benutzt die Formel 1), oder man bestimmt die Aenderung des Siedepunktes $T_1 - T_0$ und benutzt die Formel 2). Wir besprechen nur die zweite Methode.

II. Apparat (Fig. 93, 94 u. 95). 1. Als Siedegefäss dient das dreifach tubulirte Kölbchen *A*. Dasselbe ist bis zur halben Höhe mit sorg-

Fig. 93.

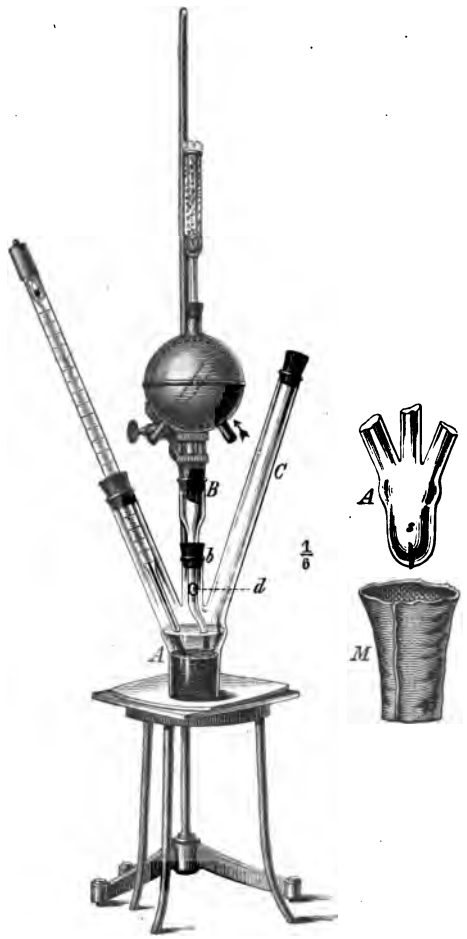


Fig. 94.

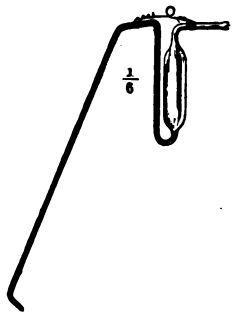
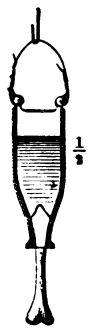


Fig. 95.



fältig ausgesuchten und durch Behandeln mit concentrirter Salzsäure gereinigten Tarirgranaten gefüllt. In dem Ansatz *D* befestigt man das Thermometer so, dass es die Granaten fast berührt, in dem Tubus *b* das Rückflussrohr *B* eines Soxhlet'schen Kühlers so, dass das Dampfloch *A* als der Weg für die Dämpfe zum Kühler frei bleibt und das untere

Ende des Rohres etwa 1 cm von den Granaten absteht, damit nicht beim Aufsteigen von Dampfblasen das Ausfliessen der Flüssigkeit behindert wird. Man muss das Rückflussrohr so drehen, dass dies Rohr weder in unmittelbarer Nähe des Thermometers mündet, noch das zum Einbringen der Substanz bestimmte Rohr *C* versperrt.

Um das Kölbchen *A* sammt dem unteren Theile der Röhren schiebt man einen Mantel von Asbestgewebe *M*, der den Boden frei lässt, oben aber mit Watte ausgestopft wird.

Das Kölbchen ruht auf einer Asbestpappe. Die oberen Theile des Apparates sind gegen Hitze durch eine über der Heizplatte in geringem Abstande befindliche zweite Asbestpappe geschützt, die einen Ausschnitt für den Boden des Siedegefässes [1]) hat.

2. Zum Erhitzen dient bei leichtflüchtigen Substanzen die spitze, leuchtende Flamme eines Bunsenbrenners nach entfernter Brennerröhre, für schwerflüchtige die gewöhnliche Bunsenflamme. Die Erhitzung wird so regulirt, dass zwar der Rückflusskühler mit Dämpfen erfüllt ist, aber doch nur etwa alle 5 bis 15 Secunden ein Tropfen abfällt.

3. Als Thermometer dient ein dem S. 170 beschriebenen analoges.

4. Zum Eintragen der Substanz in das siedende Lösungsmittel durch den Tubulus *C* dient bei Flüssigkeiten die kleine Pipettte, Fig. 94, die zweckmässig in Cubikcentimeter getheilt ist, feste Körper werden in Form von Pastillen eingeführt; auch kann man das Ventileimerchen (Fig. 95) benutzen; lässt man dasselbe durch das Rohr *C* hinuntergleiten, so öffnet sich das Ventil *v*, sobald dasselbe das Füllmaterial berührt.

III. **Uebung.** 1) Man wägt das Gefäss *A* leer; sein Gewicht sei *P*.

2) Man stellt den Apparat zusammen und erhitzt zunächst mit stärkerer Flamme bis zum Sieden, dann nimmt man die Flamme fort, lässt etwas abkühlen und erhitzt mit kleiner Flamme wieder zum Sieden [2]), wartet, bis während fünf Minuten die Temperatur sich um mehr als ein Paar Tausendstel Grade ändert. Man erhält so die Siedetemperatur des reinen Lösungsmittels T_0.

3) Man bringt zunächst etwa $\pi' g$ (0,3 g bis 0,5 g) Substanz ein, die vielleicht $0{,}1^0$ Erhöhung liefern, und bestimmt den Siedepunkt T_1' der Lösung.

4) Man bringt neue und neue Mengen π''.... ein und bestimmt die Siedepunkte der Lösung T_1''....

5) Man lässt das Gefäss abkühlen und wägt wieder; das Gewicht sei P_1.

---

[1]) Beginnt die Heizstelle schadhaft zu werden, so legt man Stückchen Asbestpapier auf.

[2]) Es geschieht dies, weil die Angaben eines Thermometers oft ein wenig abweichen, wenn man dasselbe auf die gleiche Temperatur das eine Mal abkühlt, das andere Mal erwärmt. Es empfiehlt sich daher, die Ablesungen stets nach einem Ansteigen des Quecksilberfadens zu machen.

IV. Berechnung. Das Gewicht des angewandten Lösungsmittels ist:

$$\Pi = P_1 - (\pi' + \pi'' + \cdots) - P.$$

In 100 g Lösungsmittel sind daher enthalten bei den auf einander folgenden Versuchen:

$$p' = 100\,\frac{\pi'}{\Pi}, \quad p'' = 100\,\frac{\pi' + \pi''}{\Pi} \text{ etc.}$$

$T_1 - T_0$ hat man aus den Versuchen erhalten, Φ ist zum Beispiel für Aether 21,05°, so dass man für ätherische Lösungen alle Daten zur Berechnung von M hat.

VIII. Specifische Wärme fester und flüssiger Körper.

Einleitung.

Bisher haben wir die Volumänderungen, Druckänderungen etc. gemessen, die bei Temperaturänderungen auftreten. Wir wenden uns jetzt zur Messung der ihnen entsprechenden Wärmemengen.

Jeder physikalische und chemische Process ist mit einer Wärmeentwickelung oder einem Wärmeverbrauch (einer negativen Wärmeentwickelung) verbunden, im ersten Fall tritt eine Erwärmung, im zweiten Fall eine Abkühlung ein. J. Thomsen bezeichnet die positive und negative Wärmeentwickelung mit dem Namen Wärmetönung. Mit diesen Wärmetönungen beschäftigen wir uns jetzt.

Wird ein Process in einem dem ursprünglichen Sinne entgegengesetzten durchlaufen, so kehrt sich das Vorzeichen der Wärmetönung um, der absolute Betrag bleibt derselbe. So ist z. B. die positive Condensationswärme gleich der negativen Verdampfungswärme.

Die wichtigsten thermischen Grössen sind ausser der Temperatur und dem mechanischen Wärmeäquivalent (s. w. u.) die folgenden:

I. Bei Vorgängen an einem Körper.

1) Specifische Wärme; 2) latente Schmelzwärme (Erstarrungswärme); 3) latente Dampfwärme (Condensationswärme); 4) Umwandlungswärme (z. B. bei der Umwandlung von monoklinem Schwefel in octaëdrischen).

II. Bei Vorgängen, bei denen wenigstens zwei Körper zusammentreten oder sich aus einem Körper zwei bilden.

1) Mischungswärme bei der Mischung zweier gegen einander chemisch indifferenter Flüssigkeiten (Benzol und Toluol); 2) Mischungswärme zweier gegen einander chemisch nicht indifferenter Flüssigkeiten (Alkohol und Wasser); 3) Verdünnungswärme (bei weiterem Zusatz von Mengen der einen Componente des Gemisches); 4) Lösungswärme (Krystallisationswärme) und Absorptionswärme; 5) Additionswärme und Hydratationswärme ($CaCl_2$ und $6\,H_2O$); 6) Verbindungswärme (Trennungswärme) im strengen Sinne des Wortes, wenn die Atome als solche zu einem Molecül zusammentreten und nicht erst aus anderen Molecülen abgeschieden werden müssen (s. w. u.); 7) Verbindungswärme im gewöhnlichen Sinne des Wortes, die eigentlich eine Umsetzungswärme ist, wenn die zu einem Molecül zusammentretenden Atome erst aus anderen Molecülen losgelöst werden

müssen: $H_2 + J_2 = 2HJ$, $C_2 + O_2 = 2CO$; 8) Umsetzungswärme: $HCl + KBr = HBr + KCl$, $H_2SO_4 + 2KNO_3 = K_2SO_4 + 2HNO_3$; 9) Neutralisationswärme, specieller Fall von 8), bei dem die beiden sich umsetzenden Körper eine Säure und eine Base sind: $KOH + HCl = KCl + H_2O$; 10) Verbrennungswärme.

Definition: Einheit der Wärmemengen ist eine Calorie. Eine Calorie ist diejenige Wärmemenge, welche man braucht, um die Gewichtseinheit Wasser von 0 bis 1^0 zu erhitzen.

Man unterscheidet zwischen grossen Calorien (Cal.), wenn man das Kilogramm, und kleinen Calorien (cal.), wenn man das Gramm als Gewichtseinheit zu Grunde legt.

Eine sehr praktische Wärmeeinheit ist auch $^1/_{100}$ derjenigen, welche man braucht, um 1 g Wasser von 0 bis 100^0 zu erhitzen.

Wir betrachten zunächst die unter I. 1) aufgeführte Grösse, die specifische Wärme.

Definitionen: Die wahre specifische Wärme eines Körpers bei t^0 ist diejenige in Calorien gemessene Wärmemenge, welche man braucht, um die Gewichtseinheit des Körpers bei t^0 um 1^0 zu erhitzen.

Die mittlere specifische Wärme zwischen zwei Temperaturen t_1 und t_2 ist diejenige Wärmemenge, welche man brauchen würde, um innerhalb dieses Temperaturintervalles 1 g eines Körpers um 1^0 zu erhitzen, falls sich die wahre specifische Wärme zwischen t_1 und t_2 nicht änderte. Braucht man zum Erhitzen eines Grammes von t_1 bis t_2 die Wärmemenge Q, so ist die mittlere specifische Wärme:

$$c = Q/(t_2 - t_1).$$

Wir bestimmen bei unseren Versuchen stets nur mittlere specifische Wärmen, aus denen wir dann die wahren berechnen.

Atomwärme ist diejenige Wärmemenge, welche man braucht, um eine dem in Grammen ausgedrückten Atomgewicht entsprechende Menge des betreffenden Körpers um 1 Grad zu erhitzen. Ist A das Atomgewicht, c die specifische Wärme, so ist die Atomwärme

$$W_{At} = A.c.$$

Molecularwärme ist die zur Erhitzung des in Grammen ausgedrückten Moleculargewichtes um 1 Grad nöthige Wärmemenge. Ist M das Moleculargewicht, so ist die Molecularwärme

$$W_{Mol} = M.c.$$

(Vgl. hierzu Atomvolumen und Molecularvolumen S. 55.)

Bei den im Folgenden anzustellenden Bestimmungen werden für jeden einzelnen Fall die Atom- bezw. Molecularwärmen berechnet.

Wasserwerth eines Apparates etc. nennt man diejenige Wärmemenge, welche man braucht, um ihn um 1^0 zu erhitzen; sie giebt an,

wie vielen Grammen Wasser der Apparat in thermischer Hinsicht äquivalent ist; er ist bei homogenen Substanzen gleich dem Product $p\sigma$ aus dem Gewicht p und der specifischen Wärme σ (für Messing ist $\sigma = 0{,}086$ [1]).

Von den zur Messung der specifischen Wärmen dienenden Methoden behandeln wir 1) die Mischungsmethode, 2) die Strahlungsmethode, 3) die Eisschmelzmethode.

1. Mischungsmethode.

Gebraucht wird: Calorimeter mit Rührern im Wassermantel mit Holzklotz und Pappdeckel (Fig. 98); Thermometer in Stativen; Erwärmungsgefässe nach Regnault und Pettersson (Fig. 96 u. 97); Brenner; Stative; kleines Calorimeter (vergl. S. 184); Kupferstücke, Bleistücke, Graphit, Glasstücke, Zinkblende, Bleiglanz.

Erwärmungskörper (S. 188); Quecksilberbad; Stativ; Brenner; Terpentinöl; höhere Calorimeter für die Bestimmungen nach Kopp; Glasgefässe mit Messingfuss; Rohr zum Füllen und Entleeren derselben; Waage mit Gewichten.

Einleitung.

I. Princip. Man erhitzt einen Körper vom Gewicht P auf eine Temperatur T, mischt ihn mit einem Körper vom Gewicht p von der Temperatur t und bestimmt die nach völligem Wärmeaustausch beiden gemeinsame Endtemperatur τ. Ist C die specifische Wärme des ersten Körpers, c diejenige des zweiten, so ist

$$PC(T-\tau) = pc(\tau - t),$$

denn $PC(T-\tau)$ cal. ist diejenige Wärmemenge, welche Pg Substanz von der specifischen Wärme C abgeben, wenn sie sich von T bis τ abkühlen, während $pc(\tau - t)$ cal. nöthig sind, um pg des Körpers von der specifischen Wärme c von t bis τ zu erwärmen.

Als zweiten Körper benutzt man stets eine Flüssigkeit. Dieselbe ist in einem Gefässe enthalten, welches man das Calorimeter nennt. Das Calorimeter nimmt an der Erwärmung Theil. Ist q sein Gewicht, σ die specifische Wärme seines Materials, so ist $w = q \cdot \sigma$ sein Wasserwerth (s. oben). Ebenso wird der in die Flüssigkeit tauchende Theil des Thermometers mit erwärmt, sein Wasserwerth δ muss besonders bestimmt werden (s. S. 184).

Die obige Gleichung lautet unter Berücksichtigung der Wasserwerthe des Calorimeters und des Thermometers:

$$PC(T-\tau) = (pc + w + \delta)(\tau - t).$$

$$C = \frac{(pc + w + \delta)(\tau - t)}{P(T-\tau)}.$$

[1]) Da Messing eine Legirung ist, so ist σ für die verschiedenen Messingsorten etwas verschieden; in den Beispielen ist vielfach σ rund gleich 0,1 angenommen; der dadurch entstehende Fehler ist bei der hier angestrebten Genauigkeit zu vernachlässigen.

Nimmt man als calorimetrische Flüssigkeit, wie es meist geschieht, Wasser mit der specifischen Wärme [1]) $c = 1$, so ist

$$P\,C(T-\tau) = (p + w + \delta)(\tau - t).$$

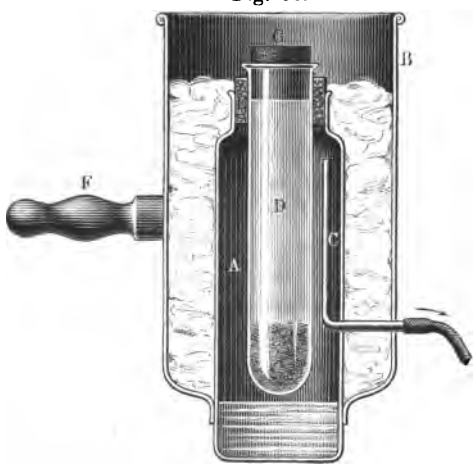
$$C = \frac{(p + w + \delta)(\tau - t)}{P(T-\tau)}.$$

Ist die Wassermenge im Calorimeter sehr gross, so kann man δ gegen $p + w$ vernachlässigen und erhält:

$$C = \frac{(p + w)(\tau - t)}{P(T-\tau)}.$$

Diese Gleichung setzt voraus, dass die ganze dem Calorimeter zugeführte Wärme in demselben bleibt, also nicht durch Leitung oder Strahlung abgeführt wird, und dass ebenso dem Calorimeter nicht von aussen Wärme zugeführt wird. Dies ist aber nur der Fall, wenn der erhitzte Körper, wie bei gut leitenden Körpern, mit dem Calorimeter sich fast momentan in das Wärmegleichgewicht setzt. Man erkennt dies daran, dass das Thermometer in dem Calorimeter sehr schnell seinen höchsten Stand erreicht; andernfalls muss der Ausstrahlung und Leitung Rechnung getragen werden (s. w. u.).

Fig. 96.



II. Apparate. 1. Erwärmungsapparate. a) Das flaschenförmige Kupfergefäss A (Fig. 96), welches zur Aufnahme der Erwärmungsflüssigkeit (Wasser) dient, die durch eine untergesetzte Flamme zum Sieden erhitzt wird, ist in den Kupfermantel B hart eingelöthet. Der Zwischen-

[1]) Wir setzen die specifische Wärme des Wassers bei unseren Versuchen gleich 1, nehmen also an, dass wir bei den Temperaturen unserer Versuche stets eine Calorie brauchen, um die Gewichtseinheit Wasser um 1^0 zu erhitzen, für die von uns angestrebte Genauigkeit genügt dies. In Wirklichkeit ist nach den Angaben von Dieterici die wahre specifische Wärme c bei t^0:

t	c	t	c
0^0	1	60^0	1,0057
10^0	0,9943	70^0	1,0120
20^0	0,9893	80^0	1,0182
30^0	0,9872	90^0	1,0244
40^0	0,9934	100^0	1,0306
50^0	0,9995		

Die mittlere specifische Wärme zwischen 0 und 100^0 ist $c_m = 1{,}0045$.

raum zwischen beiden ist mit einem schlechten Wärmeleiter, z. B. Watte, ausgestopft. Aus *A* führt das knieförmig gebogene Rohr *C* durch *B* nach aussen; durch dasselbe werden die Wasserdämpfe nach einem mit kaltem Wasser gefüllten Gefässe geleitet, woselbst ihre Condensation stattfindet. In das Rohr *D*, entweder ein Reagirglas oder ein unten geschlossenes Metallrohr, wird der zu erwärmende Körper gethan; *D* ist mit *A* durch den Stopfen *E* fest verbunden. Neigt man das Gefäss, indem man es an dem Griffe *F* fasst, so kann man die erwärmten Stücke aus *D* herausfallen lassen, ohne dass die Flüssigkeit in *A* mit ausfliesst. Zum Schutze gegen Strahlung und Luftströmungen wird das Rohr *D* durch den locker aufgesetzten Stopfen *G* geschlossen. Der obere Raum von *B* wird während des Erwärmens mit einem Wattebausch bedeckt (Form von Regnault).

b) In die kupferne Retorte *A* (Fig. 97) passt bei *B* der Stopfen *D*, der das Rohr *C* und das Röhrchen *D* trägt. *A* wird zum Theil mit Wasser

Fig. 97.

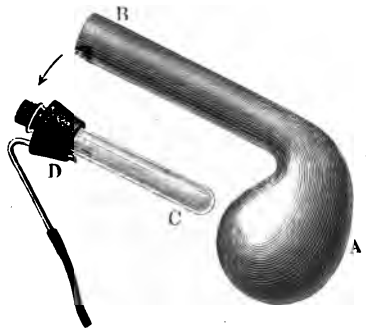
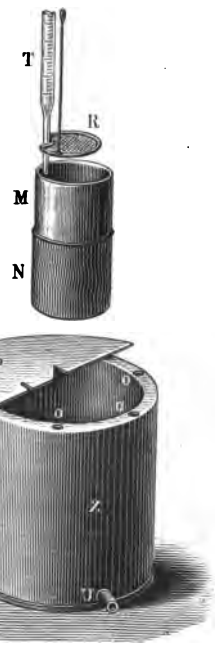


Fig. 98.



gefüllt, *D* aufgesetzt und der zu erhitzende Körper in *C* gebracht. Erhitzt man *A*, so wird *C* von den Dämpfen umspült, die durch *D* und den angesetzten Schlauch zum Condensationsgefässe fortgeleitet werden. Um den Körper aus *C* in das Calorimeter zu bringen, neigt man den Hals nach vorn, im Sinne des Pfeiles, dann fällt der Körper heraus, ohne dass Flüssigkeit herausfliesst (Form von Pettersson).

2. Calorimeter (Fig. 98). Dieselben bestehen aus dünnwandigen vernickelten Messinggefässen *M*[1]) (z. B. 6 cm hoch, $7^1/_2$ cm Durchmesser).

[1]) Will man Säuren untersuchen, so muss man Platingefässe benutzen; Glasgefässe geben ungenaue Resultate, da nicht ihre ganze Masse die Temperatur der in ihnen enthaltenen Flüssigkeit annimmt.

Sie stehen auf cylindrischen Holzklötzen N auf drei Korkspitzen. Die Rührer R bestehen aus einem auf einen Messingdrahtring gelötheten Drahtnetz; sie haben einen Ausschnitt zum Durchlassen des Thermometers T.

Zum Schutze gegen den Temperatureinfluss der Umgebung werden die Calorimeter in grössere doppelwandige Messingblechgefässe Z gestellt (20 cm hoch, 18 cm Durchmesser). Der Zwischenraum wird durch eine der Oeffnungen O mit Wasser gefüllt, welches bei U abgelassen wird.

1. Bestimmung des Wasserwerthes eines Thermometers.

I. Princip. Um den Wasserwerth des Thermometers zu bestimmen, erwärmt man das Thermometer und taucht es in eine abgewogene Menge Wasser w von der Temperatur t_0. Zeigt das Thermometer unmittelbar vor dem Eintauchen T Grade, im Wasser aber t^0, nachdem die Temperaturen sich vollständig ausgeglichen haben, so ist $w(t - t_0)$ die dem Wasser zugeführte Wärmemenge. Bezeichnet δ den Wasserwerth des Thermometers, so ist:

$$\delta(T - t) = w(t - t_0) \quad \text{und} \quad \delta = \frac{w(t - t_0)}{(T - t)}.$$

II. Apparat. Das Wasser wird in einem 18 cm hohen, $1^1/_2$ cm weiten Cylinderchen aus dünnem Messingblech abgewogen. Das Gewicht des Gefässes ist so gering, dass man für den vorliegenden Zweck seinen Wasserwerth vernachlässigen kann. Dasselbe wird auf einem Kork, in einem Messingmantel vor Strahlung geschützt, aufgestellt.

III. **Uebung.** 1) Man bestimmt das Gewicht des Wassers w.

2) Man stellt das Gefäss in den Schutzmantel, senkt das Thermometer ein und wartet, bis dasselbe eine constante Temperatur t_0 anzeigt.

3) Man hebt das Thermometer heraus, lässt abtropfen und erwärmt es in einem Wasserbade.

4) Man trocknet das Thermometer ab, führt es in den Calorimetermantel, liest die Temperatur T ab und steckt es schnell in das Calorimeter.

5) Man wartet, bis die Temperatur constant geworden ist. Sie sei t.

Beispiel: $w = 12{,}6$ g; $t_0 = 18{,}2^0$; $T = 73{,}0$; $t = 19{,}7$; $\delta = 0{,}35$.

2. Bestimmung der specifischen Wärme von festen Körpern.

A. Versuche ohne Rücksicht auf Strahlungsverluste.

Als Substanzen werden etwa 0,5 cm im Quadrat grosse, 0,5 bis 1 mm dicke Kupfer- und Bleistücke und Graphitstücke von etwa gleichem Volumen verwendet. Bei ihnen geht die Temperaturabgabe so rasch vor sich, dass man dem Umstande nicht Rechnung zu tragen braucht, dass das Calorimeter fortwährend Wärme an die Umgebung verliert, während

seine Temperatur durch die von den erwärmten Metallstücken durch Leitung dem Wasser zugeführte Wärme über diejenige der Umgebung gesteigert wird.

Uebung. 1) In eines der Erwärmungsgefässe wird so viel Wasser gegossen, dass das eingesenkte Reagirglas nicht von demselben berührt wird. Das Reagirglas wird mit den Metallstücken locker (!) zu zwei Drittel gefüllt, der dasselbe tragende Stopfen fest aufgesetzt und das Ganze erwärmt. Die sich entwickelnden Dämpfe werden condensirt.

2) Das Calorimetergefäss wird mit dem bereit stehenden Wasser von Zimmertemperatur etwa bis zur Hälfte gefüllt, der Rührer eingetaucht, das Ganze auf den Holzklotz in den Calorimetermantel Z gesetzt, das Thermometer eingesenkt und das Ganze mit zwei halbkreisförmigen Pappdeckeln P (Fig. 98) zugedeckt, welche zum Durchlassen des Thermometers und des Rührers passend ausgeschnitten sind. Zwischen Erhitzungsgefäss und Calorimeter wird ein Pappschirm aufgestellt. Die Metalle werden 15 Minuten lang bei kräftiger Dampfentwickelung erwärmt.

3) Man liest die Temperatur des Calorimeters ab, sie sei t, entfernt den Pappdeckel P, nimmt das Erwärmungsgefäss von der Flamme weg, öffnet das Reagirglas und den Calorimetermantel und wirft durch rasches Umkippen die Metallstücke in das Calorimeter. Wenn einige Stücke daneben fallen oder im Reagirglase hängen bleiben oder endlich etwas von dem Calorimeterwasser verspritzt wird, so verliert darum die Messung nichts von ihrer Brauchbarkeit [1]).

Nur darf nichts von dem heissen Wasser oder den Dämpfen der Erwärmungsgefässe in den Calorimeterraum gelangen.

4) Unter fortwährendem Rühren, bei dem der Rührer aber nie so weit gehoben werden darf, dass die auf ihm liegenden Stücke aus dem Wasser kommen, verfolgt man, nachdem man P wieder auf Z gelegt hat, das Steigen der Temperatur. Das Thermometer erreicht sehr bald einen Maximalstand, den es eine kurze Zeit beibehält, um dann gleichmässig zu sinken. Die höchste erreichte Temperatur ist die dem Calorimeter und den Metallstücken gemeinsame Endtemperatur τ.

5) Man nimmt das Thermometer aus dem Calorimeter, lässt sorgfältig abtropfen und wägt das Ganze; Gewicht P_1.

6) Das Wasser wird abgegossen, die Metallstücke werden mit Fliesspapier getrocknet, ebenso das Calorimeter und der Rührer getrocknet und das Ganze wieder gewogen; Gewicht P_2. Dann ist das Gewicht des im Calorimeter enthaltenen Wassers: $p = P_1 - P_2$.

7) Man entfernt die Metallstücke und wägt das Calorimetergefäss mit dem Rührer allein; Gewicht P_3. Dann ist $P = P_2 - P_3$ das Gewicht der Metallstücke und $q = P_3$ dasjenige des Calorimeters.

Die Versuche werden mit Kupfer, Blei und Graphit angestellt.

---

[1]) Da dies bei noch nicht erlangter Uebung häufig vorkommt, so empfiehlt es sich, alle Wägungen erst nach dem Einwerfen der Metallstücke auszuführen.

IV. Berechnung. Der Wasserwerth des Calorimeters w ist gleich $q\sigma$ ($\sigma = 0{,}086$); die weitere Berechnung geschieht nach der dritten der oben gegebenen Formeln.

Beispiel: Cu (63) $t = 17{,}4^0$; $\tau = 19{,}7^0$; $T = 99{,}2^0$; $P_1 = 231{,}2$; $P_2 = 70{,}0$; $p = 161{,}2$; $P_3 = 20{,}3$; $P = 49{,}7$; $q = 20{,}3$ g; $w = q\sigma = 2{,}0$; $p + w = 163{,}2$; $C = 0{,}095$; $W_{At} = 6{,}0$.

Ebenso wurde gefunden für Blei (Pb = 206) $C = 0{,}031$, also $W_{At} = 6{,}3$; für Graphit ($C = 12$) $C = 0{,}25$; $W_{At} = 3{,}0$.

B. Versuche mit Berücksichtigung der Strahlung[1]).

Ist die Voraussetzung nicht erfüllt, dass die in das Calorimeter eingebrachte Substanz ein so guter Wärmeleiter ist, dass sie sich in sehr kurzer Zeit mit der Flüssigkeit desselben in das Temperaturgleichgewicht setzt, so muss der durch Strahlung an die Umgebung abgegebenen Wärme Rechnung getragen werden; dies geschieht dadurch, dass man noch eine Zeit lang nach dem Einbringen des Körpers von Minute zu Minute den Gang des Thermometers verfolgt; erst steigt das Thermometer schnell zu einem Maximum und fällt dann erst langsam, dann immer schneller und schneller; in dieser Periode wird noch ein Theil der Strahlung durch Zufuhr aus dem Inneren compensirt, endlich wird der Abfall constant, etwa δ^0 in 1′; derselbe rührt von der Strahlung her und der Körper befindet sich mit der Calorimeterflüssigkeit im Gleichgewicht. Durch die Strahlung allein würde die Temperatur in jeder Minute um δ^0 sinken. Hat der Versuch bis zum Constantwerden des Sinkens $n \cdot 1'$ gedauert, so entspricht der Wärmeverlust durch Strahlung einer Temperaturdifferenz $n\delta$.

Ist die Temperatur zu dieser Zeit t_x, so ergiebt sich für die Maximaltemperatur in erster Annäherung beim Mischen des Körpers und der Flüssigkeit, falls keine Strahlung vorhanden gewesen wäre:

$$\tau = t_x + n\delta.$$

Uebung. 1) bis 3) wie bei A.

3a) Man liest die Temperatur t_0 des Calorimeters unmittelbar vor dem Einwerfen des erhitzten Körpers ab.

4) Man liest nach dem Einbringen desselben von Minute zu Minute die Temperaturen ab, sie seien $t_1 t_2 t_3 \ldots$, bildet die Differenzen $t_2 - t_1$, $t_3 - t_2 \ldots$ und verfolgt den Gang noch etwa 5 bis 10′, nachdem die Differenzen constant geworden sind.

5) bis 7) wie bei A.

Beispiel: Glasstücke: $t_0 = 15{,}8^0$; $t_2 = 18{,}3$; $t_4 = 18{,}5$; $t_6 = 18{,}5$; $t_8 = 18{,}5$; $t_{20} = 18{,}5$; $t_{24} = 18{,}4$; $t_{28} = 18{,}3$; $\delta = {}^1/_4\, 0{,}1^0$; $n\delta = 20{,}0 + 0{,}25 = 0{,}5$; $t_x = 18{,}5$; $\tau = 18{,}5 + 0{,}5 = 19{,}0$; $T = 98{,}2$; $P_1 = 259{,}4$; $P_2 = 59{,}4$; $p = P_1 - P_2 = 200{,}0$; $P_3 = q = 21{,}6$; $P = 37{,}8$ g; $q\sigma = 2{,}0$; $C = 0{,}22$.

---

[1]) Wir setzen voraus, dass der Körper kein gar zu schlechter Wärmeleiter ist, oder die Stücke nicht gar zu gross sind; wegen der genauen Correctionen sind Lehrbücher der Physik zu vergleichen. Bei genauen Messungen werden die Ablesungen von 20″ zu 20″ vorgenommen.

Ebenso wurde gefunden für Zinkblende (ZnS = 97) $C = 0{,}12$, also $W_{Mol} = 11{,}6$; für Bleiglanz (PbS = 238) $C = 0{,}5$, also $W_{Mol} = 11{,}9$.

Bei genaueren Versuchen muss man den Gang der Umgebungstemperatur mit berücksichtigen. Man theilt dann die ganze Beobachtungszeit in eine Hauptperiode, während der sich abkühlende Körper dem Calorimeter noch Wärme zuführt, und eine Nachperiode, in der nur noch die Strahlung wirksam ist. Die letztere liefert den Strahlungsverlust Δ, mit dessen Hülfe der Verlust während jeder Minute der Hauptperiode für sich berechnet wird, in einer Minute, wenn der Temperaturüberschuss des Calorimeters einen Grad betrüge (vgl. S. 215); die Gesammtcorrection ergiebt sich dann durch Addition der einzelnen Verluste. Unter gewissen Umständen empfiehlt sich, die Temperatur auch einige Minuten vor Beginn des Versuches abzulesen: Vorperiode.

Beispiel: Bei einem Versuche mit Glas und Zucker hatten sich folgende Zahlen in den Columnen 1 bis 4 ergeben, aus denen sich die in den Columnen 5 und 6 gegebenen Werthe berechnen:

Hauptperiode.

Zeit	Abgelesene Temperatur des Calorimeters	Mittlere Temperatur des Calorim.	Mittlere Temp. der Umgebung	Mittlerer Ueberschuss der Calorimetertemperatur über Umgebungstemperatur	Berechneter Verlust an Temperatur
0	$\vartheta_0 = 15{,}80^0$				
1	$\vartheta_1 = 18{,}28^0$	$17{,}04^0$	$16{,}84^0$	+ 0,20	+ 0,004
		$18{,}38^0$	$16{,}94^0$	+ 1,44	+ 0,029
2	$\vartheta_2 = 18{,}47^0$				
3	$\vartheta_3 = 18{,}50^0$	$18{,}48^0$	$17{,}02^0$	+ 1,46	+ 0,029
		$18{,}50^0$	$17{,}10^0$	+ 1,40	+ 0,028
4	$\vartheta_4 = 18{,}51^0$				
5	$\vartheta_5 = 18{,}51^0$	$18{,}51^0$	$17{,}16^0$	+ 1,35	+ 0,027
		$18{,}51^0$	$17{,}22^0$	+ 1,29	+ 0,026
6	$\vartheta_6 = 18{,}50^0$				
7	$\vartheta_7 = 18{,}50^0$	$18{,}50^0$	$17{,}26^0$	+ 1,24	+ 0,025
		$18{,}50^0$	$17{,}30^0$	+ 1,20	+ 0,024
8	$\vartheta_8 = 18{,}50^0$				
9	$\vartheta_9 = 18{,}50^0$	$18{,}50^0$	$17{,}34^0$	+ 1,16	+ 0,023
		$18{,}49^0$	$17{,}38^0$	+ 1,11	+ 0,022
10	$\vartheta_{10} = 18{,}49^0$				

Summe: $+ 0{,}237 = \varphi$

Nachperiode.

11	$\vartheta_{11} = 18{,}47^0$				
12	$\vartheta_{12} = 18{,}45^0$	$18{,}46^0$	$17{,}42^0$	+ 1,04	
		$18{,}44^0$	$17{,}42^0$	+ 1,02	
13	$\vartheta_{13} = 18{,}43^0$				
14	$\vartheta_{14} = 18{,}41^0$	$18{,}42^0$	$17{,}43^0$	+ 0,99	
Mittel		$18{,}44^0$	$17{,}42^0$	+ 1,02	

Einem Temperaturüberschusse von $1{,}02^0$ entspricht (während der Nachperiode) im Mittel ein Temperaturverlust von $0{,}02^0$ pro Minute, folglich einem Grad Temperaturüberschuss $\Delta = \frac{0{,}02}{1{,}02} = 0{,}02^0$. Mit diesem, während der Nachperiode erhaltenen Werthe von Δ sind für jede Minute der Hauptperiode die Strahlungsverluste berechnet worden, indem jede Ziffer der vorletzten Columne mit Δ multiplicirt wurde; die erhaltenen Zahlen stehen in der letzten Columne der mit „Hauptperiode" überschriebenen Tabelle.

Die Correction φ beträgt hiernach also $+ 0{,}237^0$; daraus berechnet sich $\tau = 18{,}73^0$, und $C = 0{,}197$.

3. Bestimmung der specifischen Wärme von Flüssigkeiten.

A. Methode von Andrews.

I. Princip. Taucht man einen erwärmten Körper in eine Flüssigkeit von der specifischen Wärme C und der niedrigeren Temperatur t, so wird durch die von dem erwärmten Körper abgegebene Wärme die Temperatur der Flüssigkeit erhöht, etwa bis auf T^0. Ist P das Gewicht der Flüssigkeit, w der Wasserwerth des Calorimeters, so ist die abgegebene Wärmemenge $(PC + w)(T - t)$. Taucht man denselben Körper in eine andere Flüssigkeit vom Gewichte P', der specifischen Wärme C' und der Temperatur t', und wird durch die gleiche abgegebene Wärmemenge die Temperaturerhöhung $(T' - t')$ erzielt, so ist:

$$(PC + w)(T - t) = (P'C' + w)(T' - t').$$

Ist die zweite Flüssigkeit Wasser, so kann man $C' = 1$ setzen und erhält:

$$\text{I.} \quad C = \frac{P' + w}{P} \frac{T' - t'}{T - t} - \frac{w}{P}.$$

II. Apparat. Der Erwärmungskörper besteht aus einer dünnwandigen, mit Quecksilber gefüllten Glaskugel von ca. 2 cm Durchmesser. An diese ist ein 60 cm langes, 0,6 mm weites Capillarrohr angeschmolzen, welches sich oben zu einer kleinen Kugel erweitert. An dem Rohre sind zwei Marken angebracht; in der Nähe der oberen steht der Quecksilberfaden, wenn die Kugel auf etwa 90^0 erhitzt wird, in der Nähe der unteren bei etwa 30^0.

Die Kugel wird in einem Quecksilberbade erhitzt, welches aus einem mit Quecksilber gefüllten vernickelten Eisencylinder besteht, der an einem Drahtdreieck in einem Wasserbade hängt.

Als Calorimeter dient ein 5 cm weites, 9 cm hohes Gefäss aus dünnem vernickeltem Messingblech, welches von einem Wassermantel umgeben ist.

III. **Uebung.** 1) Man wägt das Calorimeter; Gewicht q. Dann ist der Wasserwerth $w = q\sigma$.

2) Man füllt das Calorimeter bis zur Hälfte mit Terpentinöl und wägt; Gewicht P_1. Dann ist $P = P_1 - q$ das Gewicht des Terpentinöles.

3) Man stellt das Calorimeter in den Mantel, senkt das Thermometer ein und deckt das Ganze zu.

4) Man erhitzt den Erwärmungskörper in dem Quecksilberbade, bis der Faden einige Centimeter über der oberen Marke steht.

5) Man nimmt den Erwärmungskörper aus dem Bade, liest die Temperatur t des Calorimeters ab und taucht den Erwärmungskörper in die Flüssigkeit in dem Augenblicke, in dem das sinkende Fadenende bei der oberen Marke vorbeigeht.

6) Man verfolgt unter stetem Umrühren mit dem Erwärmungskörper die Temperatur des Calorimeters und liest die Temperatur T ab, bei der das Fadenende die untere Marke passirt.

7) Man füllt das Calorimeter nach sorgfältigem Ausspülen mit Alkohol und Trocknen mit Wasser und wägt wieder; Gewicht P_2. Dann ist $P' = P_2 - q$ das Gewicht des Wassers.

8) Die folgenden Manipulationen entsprechen den unter 3) bis 6) angeführten vollständig. Man erhält die Anfangstemperatur t' und die Endtemperatur T'.

IV. Berechnung. Bei der Abkühlung giebt der Erwärmungskörper immer dieselbe Wärmemenge ab, wenn der Faden um den Abstand der beiden Marken sinkt. Die unter I. aufgestellte Formel kann hier also in Anwendung gebracht werden.

Beispiel: $q = 23{,}1$; $w = q\sigma = 2{,}0$. Terpentin ($C_{10}H_{16} = 136$): $P = 68{,}3$ g; $t = 18{,}1$; $T = 32{,}0$; $T - t = 13{,}9$. Wasser: $P' = 72{,}4$ g; $t' = 16{,}5$; $T' = 22{,}3$; $T' - t' = 5{,}8$; $C = 0{,}44$; $W_{Mol} = 57$.

B. Methode von Kopp.

I. Princip. Die Flüssigkeiten, deren specifische Wärme man bestimmen will, werden in ein mit langem, engem Halse versehenes dünnwandiges Glasgefäss vom Gewichte P' gebracht, mit diesem bis auf die Temperatur T erwärmt und dann in das Calorimeter gebracht, wobei sich dessen Temperatur von der Anfangstemperatur t bis zur Endtemperatur τ erhöht. Ist P das Gewicht der angewendeten Flüssigkeit, C ihre specifische Wärme, σ_1 die oben S. 188 gefundene specifische Wärme des Glases, w der Wasserwerth des Calorimeters, p das Gewicht des in ihm enthaltenen Wassers, so ist:

$$(PC + P'\sigma_1)(T - \tau) = (p + w)(\tau - t),$$

woraus sich C berechnen lässt.

II. Apparat. Zur Aufnahme der Flüssigkeiten dienen Glasgefässe von 4 cm Höhe und 2 cm Weite, die mit einem 10 cm langen Halse versehen sind. Ihre Füllung und Entleerung erfolgt in einem dem in Fig. 65 dargestellten, ähnlichen Gefässe durch Aussaugen und Zulassen der Luft. Beim Abwägen werden sie in Standcylinder gesetzt, ähnlich den Fig. 59 abgebildeten.

Diese Gefässe werden im Quecksilberbade erhitzt. Ein kleiner, mit Quecksilber gefüllter Eisenblechcylinder wird von einem Drahtdreiecke in

einem Wasserbade gehalten. In das Quecksilber wird der untere weitere Theil der Glasgefässe getaucht, welche durch ein Stativ untergetaucht gehalten werden. Ein zweiter Arm desselben Stativs hält das Thermometer. Zum Umrühren des Quecksilberbades dient ein aus einem dünnen Glasstabe gebogener Rührer.

Das Calorimeter ist ein 8,5 cm hoher, 5,5 cm weiter Messingcylinder. Statt des netzförmigen Rührers wird ein ringförmiger benutzt. Wassermantel wie oben S. 183.

III. **Uebung.** 1) Man wägt das Calorimeter mit Rührer; Gewicht p_1.

2) Nachdem man das Calorimeter bis zu ca. 4 cm Höhe mit Wasser von Zimmertemperatur gefüllt hat, wägt man, Gewicht p_2, stellt das Calorimeter in den Wassermantel und taucht das Thermometer ein.

3) Man wägt das Glasgefäss leer; Gewicht P'.

4) Man füllt das Gefäss mit Flüssigkeit und wägt wieder; Gewicht P'_1.

5) Man erhitzt das Gefäss im Quecksilberbade bis auf T^0.

6) Man liest die Temperatur des Calorimeters t ab, bringt das Gefäss rasch aus dem Bade in das Calorimeter und liest die Endtemperatur τ ab, sowie den Gang der Temperatur, da sich die Temperatur nur relativ langsam ausgleicht; daraus berechnet man dann die Endtemperatur τ', welche eingetreten wäre, wenn keine Wärme durch Strahlung abgegeben worden wäre.

Untersucht werden Wasser und Terpentinöl.

IV. Berechnung. Analog wie S. 189.

Beispiel: $p_1 = 15{,}2$; $w = 1{,}3$; $p_2 = 71{,}8$; $p = 56{,}6$; $P' = 3{,}7$; $P'_1 = 14{,}9$; $P = 11{,}2$ g; $T = 78{,}2$; $t = 18{,}7$; $\tau' = 24{,}5$; $C = 0{,}49$.

2. Strahlungsmethode.

Gebraucht wird: Ein grösserer Blechtopf (etwa 22 cm hoch, 27 cm im Durchmesser), der mit Wasser von der Zimmertemperatur zu füllen ist; ein Messinggefäss (18 cm hoch, 15 cm im Durchmesser), welches aussen blank, innen geschwärzt ist; ein durchbohrtes Brett mit Gewichten zum Auflegen; das Calorimeter (Fig. 99) mit Thermometer und Kork; ein Wasserbad; ein Stativ; Terpentinöl; Waage mit Gewichten; Coordinatenpapier auf ein Reissbrett aufgespannt; Petroleumlampe zum Anrussen des Calorimeters.

I. Princip: Ist T die Temperatur eines Körpers, t die constante Temperatur seiner Umgebung, wobei $T > t$, so ist die Wärmemenge q, welche der Körper in jeder Zeiteinheit ausstrahlt, bezw. an die umgebende Luft (s. w. u.) abgiebt, abhängig von dem Temperaturüberschuss $T - t$ und der Beschaffenheit seiner Oberfläche. Für nicht zu grosse Temperaturdifferenzen ist q proportional dem Temperaturüberschusse, und man kann in erster Annäherung setzen:

$$q = \varepsilon (T - t),$$

wo ε eine von der Natur der Oberfläche abhängige Constante ist (vergl. auch w. u.). Ist bei zwei Körpern die Oberflächenbeschaffenheit die gleiche, so strahlen sie bei derselben Temperatur in der gleichen Zeit die gleiche Wärmemenge aus.

Lässt man einen Körper, der anfangs eine Temperatur T_0 hatte, seine Wärme allmählich durch Strahlung gegen die kältere Umgebung verlieren, so ist die in einer bestimmten Zeit Z ausgestrahlte Wärmemenge eine ganz bestimmte, von der Anfangstemperatur T_0 und der Endtemperatur T_1 abhängige Grösse Q. Die durch Strahlung verloren gegangene Wärmemenge Q wird dem Wärmevorrath im Inneren des Körpers entnommen.

Ist c die mittlere specifische Wärme des Körpers zwischen T_1 und T_0, p sein Gewicht, so ist:

$$Q = p\,c\,(T_0 - T_1).$$

Lässt man zwei Körper von den Gewichten p_1 und p_2 und den mittleren specifischen Wärmen c_1 und c_2 zwischen den Temperaturen T_0 und T_1 sich durch Strahlung von T_0 bis T_1 abkühlen, so sind die dabei ausgestrahlten Wärmemengen:

$$Q_1 = p_1 c_1\,(T_0 - T_1) \qquad Q_2 = p_2 c_2\,(T_0 - T_1).$$

Die zur Ausstrahlung dieser Wärmemengen bei derselben Umgebungstemperatur t erforderlichen Zeiten Z_1 und Z_2 verhalten sich, wenn die Oberflächenbeschaffenheit der beiden Körper gleich ist, wie diese Wärmemengen selbst, d. h.:

$$Z_1 : Z_2 = Q_1 : Q_2$$

oder

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{p_1 c_1}{p_2 c_2}.$$

Nach dieser Gleichung kann man das Verhältniss der specifischen Wärmen zweier Substanzen ermitteln.

Man füllt in dasselbe Gefäss vom Wasserwerthe w einmal Wasser (specifische Wärme c_1) und dann die Substanz, deren specifische Wärme c_2 man ermitteln will, bringt das Gefäss jedesmal sammt Inhalt auf eine höhere Temperatur, lässt das Gefäss in einer Umgebung von constanter Temperatur seine Wärme allmählich ausstrahlen und notirt dabei die Zeiten Z_1 und Z_2, welche einmal das mit Wasser gefüllte Gefäss, das andere Mal das mit der Substanz gefüllte Gefäss braucht, um sich von derselben Anfangstemperatur T_0 bis zu derselben Endtemperatur T_1 abzukühlen. Dann ist ganz analog wie oben:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{(p_1 . c_1 + w)}{(p_2 . c_2 + w)}$$

oder

$$c_2 = \frac{1}{p_2}\left[p_1 c_1 \frac{Z_2}{Z_1} + w\,\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1}\right].$$

Das Verfahren setzt voraus, dass der Wärmeaustausch zwischen Oberfläche und Innerem des strahlenden Körpers ein vollkommener ist; dasselbe ist demnach vorwiegend zur Ermittelung der specifischen Wärmen von Flüssigkeiten geeignet.

II. Apparat. Zur Aufnahme der Flüssigkeiten dient das $5^1/_2$ cm hohe, $3^1/_2$ cm im Durchmesser haltende Gefäss *A* (Fig. 99) aus vernickeltem Messingblech.

Fig. 99.

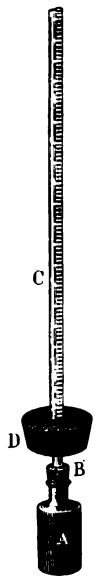
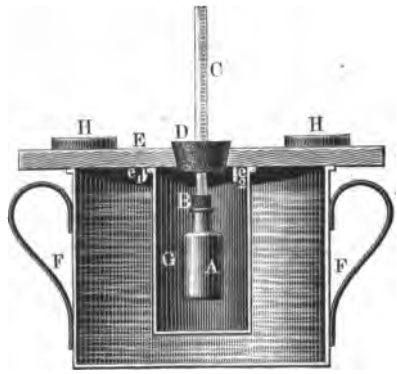


Fig. 100.



In den cylindrischen Hals wird der Kork *B* fest eingesetzt, durch welchen das Thermometer *C* geführt ist. In *B* ist eine Längsfurche geschnitten, durch welche der Innenraum von *A* mit der umgebenden Luft communicirt. Ueber das Thermometer ist der grosse Kork *D* geschoben. Derselbe passt in die kreisförmige Oeffnung des Brettes *E* (Fig. 100).

Einen Raum, dessen Temperatur während der Versuchszeit hinreichend constant ist, stellt man dadurch her, dass man in die in dem Topfe *F* enthaltene Wassermasse von Zimmertemperatur das Messinggefäss *G* setzt und darin durch Auflegen des Brettes *E* festhält; *E* trägt an seiner Unterseite drei Stifte e_1, e_2, e_3, durch welche *G* gerade in der Mitte von *E* festgehalten wird. Den Auftrieb compensirt man durch die aufgelegten Gewichte *H*. *G* ist innen geschwärzt, aussen blank. Die Wassermasse in *F* ist so gross, dass ihre Temperatur in Folge der durch die Ausstrahlung von *A* in sie übergehenden Wärmemenge nicht merklich geändert wird.

Wird der Kork *D* in das Brett *E* gesetzt, so hängt das Strahlungsgefäss in dem vor Luftströmungen relativ geschützten Strahlungsraum *G*.

Zum Markiren der einzelnen Minuten wird die mit einer elektrischen Klingel verbundene Uhr S. 27 verwendet.

III. **Uebung.** 1) Man bestimmt das Gewicht des leeren Strahlungsgefässes *A*; es sei P_0 g.

2) Das Gefäss *A* wird bis etwas unterhalb des Halses mit Wasser gefüllt; Gewicht P_1; Gewicht des Wassers $p_1 = P_1 - P_0$.

3) Das Thermometer *C* mit den beiden Korken *B* und *D* wird in das Gefäss *A* gesenkt und mit demselben durch Eindrücken des Korkes *B* fest verbunden. Dann wird das Gefäss *A* in ein Wasserbad bis zum Halse getaucht und *C* an einem Stative festgeklemmt.

4) Man erhitzt das Wasser in A bis etwa auf 85°, nimmt das Gefäss A aus dem Wasserbade heraus, trocknet es ab und senkt es in den Strahlungsraum G, indem man den Kork D in das Brett E einsetzt. Man wartet, bis das Thermometer bis auf etwa 80° gefallen ist und notirt nun von Minute zu Minute den Stand des Thermometers, bis das Thermometer etwa bis auf 60° gesunken ist.

5) Man nimmt A aus dem Raume G heraus, giesst das Wasser aus, trocknet mit Alkohol und Aether, füllt Terpentinöl in das Gefäss bis nahe zum Halse und wägt. Gewicht P_2 g. Dann ist das Gewicht des verwendeten Terpentinöles $p_2 = P_2 - P_0$.

6) und 7) Man verfährt mit dem mit Terpentinöl gefüllten Gefässe genau wie unter 3) und 4).

IV. Berechnung: Mit den unter 4) und 7) erhaltenen Zahlenwerthen construirt man eine Curve, welche den Gang der Abkühlung des strahlenden Körpers veranschaulicht. Man verzeichnet die Minuten als Abscissen auf der Horizontallinie von Coordinatenpapier. An den einzelnen Verticallinien bezeichnet man die zu den entsprechenden Zeiten gehörenden Temperaturgrade mit ihren Zehnteln als Ordinaten, indem man eine Linie mit 80°, die um 20 Linien weiter unten liegende mit 60° bezeichnet; um Platz zu sparen, legt man diese tiefste Ordinate möglichst nahe an die Abscissenaxe.

Verbindet man alle beobachteten Punkte durch eine Curve, so sieht man, dass die Abkühlung erst rasch, dann immer langsamer von statten geht.

Vergleicht man die beiden Curven für das Wasser und das Terpentinöl, so erkennt man, dass das Wasser sich viel langsamer als das Terpentinöl abkühlt, die Curve für das letztere fällt viel steiler ab. Schon hieraus ist zu schliessen, dass die Wärmecapacität des Wassers eine sehr viel grössere als die des Terpentinöles ist.

Aus den Curven erhält man die Zeiten, welche die beiden Flüssigkeiten zu einem Temperaturabfall zwischen denselben Temperaturen brauchten. Man sucht die Punkte auf, in denen beide Curven dieselben möglichst hoch und möglichst tief gelegenen Horizontallinien schneiden, etwa die Linien für 78 und 62°. Dann sucht man die Zeiten, welche zu diesen Schnittpunkten gehören. Findet man für die beiden Schnittpunkte der Curve, welche dem Wasser zukommt, die Abscissen x_1 und x_2, so ist die Zeit der Abkühlung von 78 bis auf 62° $Z_1 = x_2 - x_1$. Analog erhält man das Terpentinöl, $Z_2 = x_4 - x_3$.

Daraus erhält man nach der Formel S. 191 c_2.

Beispiel: Gefunden wurde:

$P_0 = 24{,}1$ g; daraus ergiebt sich $w = 2{,}31$; $p_1 = 43{,}73$ g; $p_2 = 38{,}31$ g.

Für den Temperaturabfall von 76 bis 41° ergab sich für Wasser $Z_1 = 30{,}8$ Minuten; für Terpentinöl $Z_2 = 15{,}5$ Minuten. Daraus ergiebt sich $c_2 = 0{,}54$.

V. **Uebung 2.** Das mit Terpentinöl gefüllte Gefäss A wird abermals bis über 80° erwärmt, dann äusserlich getrocknet und über einer

Petroleumlampe angerusst. Man notirt während einiger Minuten die Temperaturen und überzeugt sich, dass jetzt der Temperaturabfall sehr viel rascher erfolgt.

VI. Allgemeines. 1. Wenn sich ein Körper in Luft befindet, so wie hier, so verliert er seine Wärme nicht allein durch Strahlung, sondern gleichzeitig auch durch Leitung und Convection. In Folge der Leitung geht einerseits ein Theil der Wärme durch den tragenden Körper, in unserem Falle die Glasmasse des Thermometers, in die umgebenden Körper, andererseits giebt der Körper direct Wärme an die einzelnen, ruhend gedachten Luftmassen. Diese werden dadurch leichter, steigen in die Höhe und machen anderen kälteren Luftmassen Platz, die wieder erwärmt werden, aufsteigen u. s. f. Man bezeichnet diese Art der Fortführung der Wärme als Convection.

Von den Einflüssen der Convection kann man sich bei Strahlungsversuchen nur dadurch frei machen, dass man den Strahlungsraum sehr weit evacuirt, dann bleibt aber immer noch eine Leitung von Luftschicht zu Luftschicht bis zu der Wand des Gefässes.

Da die Convectionsströmungen um so lebhafter sind, je grösser die Temperaturdifferenzen sind, so unterstützen sich Strahlung und Convection bei der Abkühlung des Körpers. Bleibt man, wie es hier geschehen ist, zwischen denselben Temperaturgrenzen und sind auch sonst die Versuchsbedingungen analog, so gehen die Einflüsse der Strahlung und Convection bis zu einem gewissen Grade parallel.

Wir haben in unserem Falle in erster Annäherung die Convectionsströmungen nicht besonders berücksichtigt.

2. Die oben erwähnte Proportionalität zwischen Strahlung und Temperaturüberschuss findet mit grösserer Annäherung nur statt, wenn der Temperaturüberschuss nicht allzu gross ist. Bei grösseren Temperaturdifferenzen hängt die Strahlung in anderer Weise von der Temperatur ab. Am besten stellt das Gesetz von Stefan die Strahlung dar, welches aussagt:

„Die Strahlung wächst mit der vierten Potenz der absoluten Temperatur, welche von — 273° C. an gerechnet ist.“ Bei dem hier zur Ermittelung der specifischen Wärmen benutzten Verfahren ist die Form des Strahlungsgesetzes ohne Einfluss, da die Temperatur aus der Endformel herausfällt.

3. Glatte und helle Oberflächen strahlen wenig, rauhe und dunkle Oberflächen strahlen stärker.

Dies ist bei der Construction des Apparates benutzt worden. Die Oberfläche des Strahlungsgefässes ist blank, damit die Ausstrahlung nicht zu rasch erfolgt, so dass sich die Temperatur im Inneren desselben möglichst vollkommen ausgleichen kann und das Thermometer wirklich immer die Temperatur der Flüssigkeit anzeigt. Die innere Fläche von *G* ist jedoch geschwärzt worden, damit sie die auf sie übergestrahlte Wärme

möglichst vollkommen aufnimmt; dieselbe wird durch das Metall schnell dem Wasser zugeführt.

Um die Ausstrahlung und Einstrahlung von Wärme zu vermindern, macht man die Aussenseiten aller Calorimeter blank (vergl. oben). Will man einen Körper vor strahlender Wärme schützen, so umgiebt man ihn mit einem glänzenden (z. B. mit Stanniol beklebten) Schirm.

3. Bestimmung der specifischen Wärme mit dem Eiscalorimeter.

I. Princip. Statt dass man die Wärmemengen durch die Erwärmung einer bestimmten Wassermenge, die in einem Calorimeter enthalten ist, bestimmt, kann man auch die Mengen einer Substanz bestimmen, welche durch die Wärmemenge unter genau bestimmten äusseren Umständen aus einem Aggregatzustande in einen anderen übergeführt werden, sei es aus dem festen in den flüssigen, wie bei dem Bunsen'schen Eiscalorimeter, sei es aus dem flüssigen in den dampfförmigen, wie bei den Verdampfungscalorimetern von Bunsen, Neesen und Rosenthal.

Wir behandeln hier nur das Bunsen'sche Eiscalorimeter (Fig. 101). Die durch eine zugeführte Wärmemenge geschmolzene Eismenge wird dabei durch die Volumänderung (-verminderung), welche beim Schmelzen eintritt, bestimmt. Ist s_e die Dichte des Eises, s_w diejenige des flüssigen Wassers, ferner V die beobachtete Volumänderung in Cubikcentimetern, wobei Pg geschmolzen sind, so ist:

$$V = \frac{P}{s_e} - \frac{P}{s_w} \qquad P = \frac{V \cdot s_w s_e}{s_w - s_e};$$

ist ferner L die latente Schmelzwärme und W die zugeführte Wärmemenge, so ist:

$$W = LP = LV \frac{s_w s_e}{s_w - s_e}.$$

Der bei der Volumverminderung beim Schmelzen frei werdende Raum wird bei den Eiscalorimetern durch Quecksilber von 0^0 ausgefüllt, dessen Menge man ermittelt. Statt nun die Grössen L, s_w, s_e zu bestimmen, ermittelt man zunächst die Menge Quecksilber q, welche der durch die Wärmezufuhr von 1 cal. erzeugten Volumänderung entspricht, ebenso ermittelt man die entsprechenden Quecksilbermengen Q bei Zufuhr der zu bestimmenden Wärmemengen W; ist s die Dichte des Quecksilbers, so ist:

$$1 = L \frac{q}{s} \frac{s_w s_e}{s_w - s_e} \qquad W = L \frac{Q}{s} \cdot \frac{s_w s_e}{s_w - s_e},$$

also:

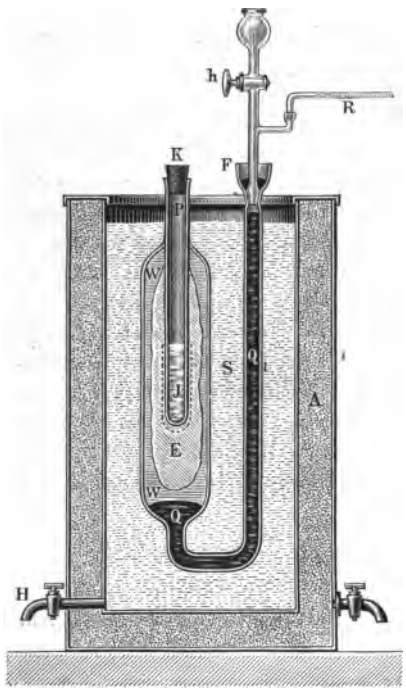
$$W = \frac{Q}{q},$$

so dass L, s_w, s_e zur Bestimmung von W nicht bekannt zu sein brauchen. Für die mittlere Grammcalorie, d. h. die mittlere specifische Wärme

zwischen 0 und 100°, ist $q = 15{,}44$ mg, für die Grammcalorie von 0 bis 1° ist $q' = 15{,}44/1{,}0045$.

II. Apparat. In das weitere Glasgefäss $W\,W$ ist das Probierrohr P so eingeschmolzen, dass es mit seinem oberen Theile herausragt. An $W\,W$ ist unten die Röhre $Q\,Q_1$ angesetzt, welche oben in einem Schliff F mit Quecksilberdichtung (Fig. 101) endigt. Den oberen Theil des Schliffes bildet ein T-Stück mit Hahn h, in das T-Stück ist mittelst eines Schliffes das Capillarrohr R eingesetzt. Das Capillarrohr liegt auf einer Scala. Der ganze Apparat steht in einem Gefäss S mit reinem, destillirtem Wasser, das zum Theil zum Frieren gebracht ist, und das selbst von einem zweiten Gefässe $A\,A$ umgeben ist, das mit Eis gefüllt ist (event. kann man auch S mit reinstem Schnee füllen und in $A\,A$ einen schlechten Wärmeleiter bringen). Das Calorimeter W wird in passender Weise innerhalb S festgehalten.

Fig. 101.



Am Ende des Capillarrohrs bringt man zweckmässig einen kleinen Druckapparat in Form eines Manometers an, um den Druck im Inneren des Calorimeters gleich dem der Umgebung zu machen, da sonst in Folge der Veränderung des Schmelzpunktes durch den Druck ein Abschmelzen oder eine Neubildung von Eis eintritt, ohne dass Wärme zugeführt wird.

Neben das Capillarrohr legt man ein Thermometer.

Bei diesem Apparat wird die Quantität des abschmelzenden Eises aus den Verschiebungen des Endes eines Quecksilberfadens ermittelt.

Man kann aber auch das Ende der Capillare, die dann nur ganz kurz zu sein braucht, in Quecksilber, das sich in einem Schälchen befindet, münden lassen, und die Aenderungen des Gewichtes derselben ermitteln, die den eingesogenen Quecksilbermengen entsprechen.

III. **Uebung.** 1) Man calibrirt das Capillarrohr in der S. 53 angegebenen Weise, indem man einen Quecksilberfaden durch dasselbe gehen lässt und die Weite des Rohres an jeder Stelle bestimmt; dann entwirft man eine Tabelle für den Voluminhalt jedes Millimeters der Röhre in Cubikcentimetern.

2) Füllen des Apparates. Man füllt zunächst den Raum WW mit destillirtem Wasser, während der ganze Glasapparat nach Fortnahme des inneren Schliffstückes F so steht, dass P sich unten befindet. Das Wasser wird dann ausgekocht, während das Ende von Q in ausgekochtes Wasser taucht; dadurch wird alle Luft ausgetrieben. Darauf wird der Apparat aufgerichtet und in F so viel reines Quecksilber gegossen und durch Neigen so viel Wasser aus WW entfernt, bis das Quecksilber in WW etwa so hoch steht, wie die Figur zeigt und in Q_1 dieselbe Höhe hat. Mittelst einer Pipette entfernt man dann den Rest Wasser aus Q_1, trocknet sorgfältig aus und füllt dann mit Quecksilber auf. Hierauf wird das Ganze in S gebracht. Um P wird dadurch ein Eismantel gebildet, dass man in den Raum J, der etwas Weingeist enthält, ein dünnwandiges Reagenzglas mit einer Kältemischung aus Chlorcalcium und Schnee senkt. Nach mehrmaliger Wiederholung bildet sich um J ein schöner, klarer Eismantel, der aber die äussere Wand von WW nicht berühren darf; um dies zu erreichen, entfernt man aus J das Reagenzglas mit der Kältemischung und den Alkohol und giesst in J etwas Wasser, dann bildet sich um den unteren Theil von P eine dünne Wasserschicht, die mit dem Wasser in W communicirt. Hierauf setzt man den inneren Theil des Schliffes ein, kühlt des Ganze auf 0^0 ab und lässt bei geöffnetem Hahn h so viel Quecksilber in das Capillarrohr treten, bis es in die Nähe des Endes derselben reicht; dann schliesst man h.

3) Bestimmung der specifischen Wärme.

Uebung. 1) Man wägt den zu untersuchenden Körper ab; sein Gewicht sei P.

2) Man bestimmt den Vor- resp. Rückgang, die Eigenbewegung des Endes des Quecksilbers während einer bestimmten Zeit, ersteren rechnet man negativ, letzteren positiv; die Eigenbewegung rührt von Neubildung oder Abschmelzen von Eis her. Sie sei pro Minute v mm.

3) Man liest die Stellung des Endes ab, sie sei e_1 zur Zeit z_0', wirft den vorher auf T^0 erhitzten Körper in das Eiscalorimeter und verfolgt den Gang des Fadens, bis er wieder gleichmässig geworden ist. Man liest die Stellung zur Zeit z_1 ab; sie sei e_2.

4) Man liest zu einer späteren Zeit z_2 die Stellung des Fadens ab, sie sei e_3, dann hat der Faden in dieser Zeit eine Eigenbewegung pro Minute:

$$\frac{e_3 - e_2}{z_2 - z_1} = v_1 \text{ mm}.$$

5) Man liest die Temperatur τ des Thermometers neben dem Capillarrohr ab.

IV. Berechnung. Nehmen wir an, dass die Eigenbewegung des Quecksilberfadens während der Wärmeabgabe des erhitzten Körpers die mittlere von denjenigen vor und nach dem Versuch ist, so würde während einer Minute eine Bewegung um $(v + v_1)/2$ mm eingetreten sein,

während der Zeit $z_1 - z_0$ also eine solche von $(z_1 - z_0).(v + v_1)/2$. Durch die Wärmezufuhr und die Eigenbewegung hat aber eine Verschiebung um $e_2 - e_1$ mm stattgefunden, durch die Wärmezufuhr allein also eine solche um

$$e_2 - e_1 - (z_1 - z_0)\,\frac{(v + v_1)}{2}.$$

Je kleiner die Eigenbewegung, um so genauer werden die Messungen.

Aus der bei der Calibrirung entworfenen Tabelle entnehmen wir, dass dieser Verschiebung an der betreffenden Stelle ein Volumen von a cbcm entspricht. Ist dann s das specifische Gewicht des Quecksilbers bei der Temperatur τ, so sind $a.s$, 1000 mg Quecksilber eingezogen, also an das Calorimeter abgegeben worden:

$$W = \frac{a.s.1000}{15{,}44} \text{ cal.}$$

Das Gewicht P der Substanz hat sich von T bis 0^0 abgekühlt, also ist, wenn c die mittlere specifische Wärme zwischen T und 0^0 ist:

$$W = \frac{a.s.1000}{15{,}44} = cPT,$$

also

$$c = \frac{a.s.1000}{P.T.15{,}44}$$

in mittleren Calorien oder

$$c = \frac{a.s.1000}{P.T.15{,}44} \cdot 1{,}0045$$

in Calorien zwischen 0 und 1^0.

Allgemeines.

Bei den meisten festen Körpern ist die specifische Wärme nahezu von der Temperatur unabhängig, bei den Flüssigkeiten ändert sie sich dagegen stark mit derselben.

Für die meisten Elemente gilt das Dulong-Petit'sche Gesetz. Die specifische Wärme ist umgekehrt proportional dem Atomgewicht, oder das Product aus specifischer Wärme und Atomgewicht, die Atomwärme, ist für die meisten Elemente nahezu eine Constante. Diese liegt etwas oberhalb 6. Wir haben das Gesetz an Kupfer und Blei mit den sehr verschiedenen Atomgewichten 63,3 und 206,6 geprüft; wir fanden für Kupfer die Atomwärme = 6,0, für Blei = 6,3.

Eine wesentliche Ausnahme von dem Dulong-Petit'schen Gesetz machen Kohlenstoff, Silicium und Bor, deren specifische Wärme und damit auch deren Atomwärme für gewöhnliche Temperaturen wesentlich

kleiner ist, als es das Gesetz verlangt. Für Graphit ist nach den obigen Messungen die Atomwärme zwischen 20 und 100° nur etwa = 3,0. Bei diesen drei Körpern ändert sich aber die specifische Wärme sehr mit der Temperatur, so dass bei sehr hohen Temperaturen die Atomwärme die normale wird.

Das Dulong-Petit'sche Gesetz kann man benutzen, um eine Entscheidung darüber zu treffen, ob das Atomgewicht eines Elementes einen von mehreren Werthen besitzt, die man aus der Analyse einer Verbindung desselben erhält, je nachdem man annimmt, dass dasselbe die eine oder die andere Werthigkeit besitzt. Man bestimmt dazu die specifische Wärme, dividirt in 6 und nimmt den Werth der verschiedenen aus der Analyse abgeleiteten Atomgewichte, der dem so berechneten am nächsten liegt.

Für Verbindungen gilt das Gesetz: Analoge Verbindungen mit gleich viel Atomen haben gleiche Molecularwärmen, und die Molecularwärme einer Verbindung, die n Atome enthält, ist in sehr vielen Fällen sehr nahe gleich $n.6$. So wurde für Zinkblende (ZnS) die Molecularwärme zu 11,6, für Bleiglanz (PbS) zu 11,9 bestimmt. Auch dieses Gesetz kann man zur Bestimmung der Atomgewichte heranziehen.

Doch erfährt auch dieses Gesetz Ausnahmen wie das von Dulong-Petit.

IX. Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes.

Einleitung.

Gebraucht wird: Reibungsapparat Fig. 103; Quecksilber; Thermometer; Gewichte; Waage.

Durch Arbeit können wir Wärme erzeugen, so bei der Reibung, und umgekehrt durch Wärme Arbeit, so bei den Dampfmaschinen.

Die Arbeit messen wir durch das Product aus der Kraft, gegen die wir die Arbeit leisten, in den Weg, längs dessen wir den Angriffspunkt der Kraft bewegen.

Als Einheit der Arbeit dient diejenige Arbeit, welche geleistet wird, wenn das einem Kilogramm entsprechende Gewicht um 1 m in die Höhe gehoben wird; man nennt diese Arbeit das Kilogrammmeter (1 kg.m) oder Meterkilogramm (mkg).

Heben wir ein Gewicht P auf eine Höhe H, so ist die an dem Gewicht geleistete Arbeit $A = PH$. Dadurch, dass wir das Gewicht auf die Höhe H gehoben haben, haben wir in demselben einen Arbeitsvorrath (eine potentielle Energie) PH aufgehäuft. Fällt das Gewicht wieder bis zum Boden, so wird dieser Arbeitsvorrath verbraucht; wir können dabei ein gleich grosses Gewicht $P_1 = P$ auf dieselbe Höhe heben, wenn wir P mit P_1 durch eine um eine Rolle ohne Reibung gehende Schnur verbinden, und die jetzt in P_1 aufgehäufte Arbeit ist gleich dem ursprünglich in P aufgehäuft gewesenen Arbeitsvorrath. Wir können aber auch P mit einer Schnur, die um eine mit grosser Reibung sich bewegende Rolle geschlungen ist, verbinden, dann wird der Arbeitsvorrath zur Ueberwindung der Reibung verwendet und in Wärme umgesetzt.

Wie nun auch Arbeit in Wärme umgesetzt werden mag, stets ist die erzeugte Wärme der verloren gegangenen, verbrauchten Arbeit proportional. Zur Erzeugung einer grossen Calorie ist eine Arbeit von 424,4 kg.m erforderlich. Umgekehrt können wir durch Zufuhr einer grossen Calorie eine Arbeit von 424 kg.m leisten.

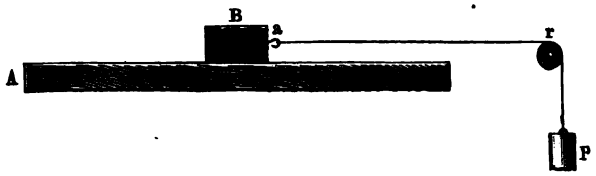
$J = 424{,}4$ kg.m heisst das mechanische Wärmeäquivalent.

Durch eine kleine Calorie wird eine Arbeit von 424 g.m oder von 424 kg.mm geleistet etc.

Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes.

I. Princip. Wir ziehen eine Fläche A unter einer Fläche B mit constanter Geschwindigkeit von links nach rechts fort (Fig. 102). An B ist an einer über eine Rolle r gehenden Schnur ein Gewicht P angehängt. Die Geschwindigkeit von A wird so regulirt, dass das Gewicht gerade in

Fig. 102.



Ruhe bleibt, also weder steigt noch sinkt, seine Grösse, vermehrt um den Reibungswiderstand der Rolle r, hält dann gerade der Reibung zwischen A und B das Gleichgewicht. Diese, multiplicirt mit dem von einem Punkte der Fläche A zurückgelegten Wege giebt die verbrauchte Arbeit. Messen wir in irgend einer Weise die dabei frei werdende Wärmemenge, so können wir das mechanische Wärmeäquivalent berechnen.

Die Reibung an der Rollenaxe ist bestimmt durch den Druck, welchen dieselbe erleidet. Bei dem eben beschriebenen Versuche greifen in horizontaler und verticaler Richtung die Kräfte P an, jede derselben liefert senkrecht zur Rollenaxe einen Druck $P\cos 45 = P/\sqrt{2}$, also beide zusammen einen Druck $2P/\sqrt{2} = P\sqrt{2}$. Nachdem man das Gewicht P ermittelt hat, welches der Reibung das Gleichgewicht hält, löst man die Schnur bei a los, lässt sie frei über die Rolle hängen, befestigt an beiden Enden derselben Gewichte $\frac{1}{2}P/\sqrt{2}$, die zusammen wieder auf die Rollenaxe einen Druck P ausüben. Man bestimmt das Uebergewicht P', das man auf die eine Seite auflegen muss, um die Rolle gerade in Bewegung zu setzen. P' ist dann die Reibung an der Rollenaxe, $P + P' = \Pi$ ist die Grösse der Reibung der Fläche A an der Fläche B.

II. Apparat. Auf der verticalen Axe einer Schwungmaschine ist durch schlechte Leiter vor Wärmezufuhr durch Leitung geschützt der stählerne Hohlkegel k conaxial befestigt (Fig. 103 a. f. S.). Ein ganz gleicher Hohlkegel, welcher in den ersten lose hineingesteckt ist, trägt an seinem Deckel einen Helbelarm gh, dessen Ende h auf einem Kreisbogen spielt. Ein an diesem Ende befestigter, über eine Rolle r gelegter Faden trägt eine Schale S, in welche Gewichte gelegt werden können. Das Innere des zweiten Stahlkegels wird mit Quecksilber gefüllt und in dasselbe von oben ein Thermometer t gesteckt, welches den Deckel längs der Axe

durchsetzt. An einem Zählwerk liest man die Zahl der Umdrehungen des äusseren Kegels ab.

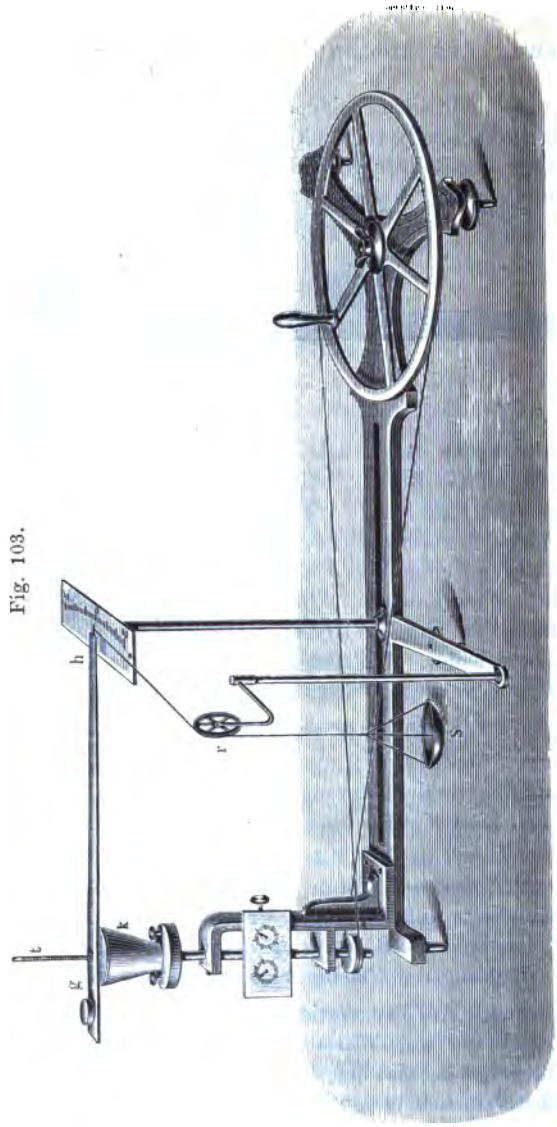


Fig. 103.

Uebung. 1) Man wägt den äusseren Cylinder, sein Gewicht sei p_1.

2) Man wägt den inneren Cylinder, sein Gewicht sei p_2.

3) Man wägt den mit Quecksilber gefüllten inneren Cylinder, sein Gewicht sei p_3, dann ist das Gewicht des Quecksilbers: $p = p_3 - p_2$.

4) Man setzt den Apparat zusammen, legt in die Schale ein Gewicht P und liest die Temperatur ab, sie sei t_1.

5) Nach fünf Minuten liest man die Temperatur wieder ab, sie sei t_2.

6) Man setzt den Apparat in Bewegung und regulirt die Drehungsgeschwindigkeit so, dass das Ende h des Hebels stets auf dem mittelsten Strich der Theilung einspielt, also das Gewicht in der Schale senkrecht zum Hebel angreift.

7) Man dreht so lange, bis die Temperatur etwa um 3 bis 5^0 gestiegen ist; man hält an und verfolgt den Gang des Thermometers; die höchste Stelle, die es erreicht, liest man ab, sowie die Zeit, zu der dies eintritt; diese Temperatur sei t_3.

8) Man liest während weiterer fünf Minuten die Temperatur ab.

9) Man liest an dem Zählwerk die Zahl der Umdrehungen ab, sie sei n.

10) Man misst die Länge des Hebelarmes l.

11) Man bestimmt die Reibung der Rolle in der oben angegebenen Weise, sie sei P'.

IV. Berechnung. Zur Berechnung der verbrauchten Arbeit nehmen wir der Einfachheit wegen zunächst an, dass die sich reibenden Flächen Cylinder mit dem Radius r sind; der an dem Hebelarm r wirkenden Reibung wird durch eine Kraft $P + P'$ im Abstand l das Gleichgewicht gehalten, die Reibung ist also:

$$(P + P') \frac{l}{r}.$$

Da bei einer Umdrehung sich die Angriffspunkte der Reibung an den einzelnen Stellen der Oberfläche um $2\pi r$ fortbewegen, so ist die bei einer Umdrehung verbrauchte Arbeit

$$A_1 = 2\pi r (P + P') \frac{l}{r} = 2\pi (P + P') l,$$

und bei n Umdrehungen:

$$A = 2n\pi (P + P') l.$$

Dasselbe Resultat erhält man, wenn die reibenden Flächen irgend welche Umdrehungsflächen sind, denn aus der Endformel fällt r heraus.

Zur Bestimmung der erzeugten Wärmemenge müssen wir den Wasserwerth des Apparates kennen; ist die specifische Wärme des Stahles c_1 (0,1138), die des Quecksilbers c_2 (0,0333), der Wasserwerth des Thermometers w, so ist der gesammte Wasserwerth aller erwärmten Theile:

$$W = (p_1 + p_2) . 0{,}1138 + p . 0{,}0333 + w.$$

Die direct beobachtete Temperaturerhöhung ist in der S. 187 besprochenen Weise für Strahlung und Leitung zu corrigiren; ist die corrigirte Temperaturerhöhung $T + \Delta$, so ist die erzeugte Wärmemenge:

$$W.(T + \Delta).$$

Ist J das mechanische Wärmeäquivalent, so wird

$$J.W.(T + \Delta) = 2n\pi(P + P').l$$

$$J = \frac{2n\pi(P + P')l}{W.(T + \Delta)}.$$

X. Specifische Wärme der Gase[1]).

Gebraucht wird: Apparat nach Clement und Desormes; Wulff'sche Flasche mit Schwefelsäure; Schwefelsäuremanometer; Kundt'sche Röhre, Fig. 73; Kipp'scher Apparat für Kohlensäure und Wasserstoff.

Definitionen. Bei den Gasen hat man zu unterscheiden:

a) Specifische Wärme bei constantem Drucke c_p, d. i. die Wärmemenge, welche man der Gewichtseinheit eines Gases zuführen muss, um dasselbe um einen Grad zu erwärmen, wenn der Druck des Gases unverändert bleibt, das Gas sich also ausdehnt.

b) Specifische Wärme bei constantem Volumen c_v, d. i. die Wärmemenge, welche man der Gewichtseinheit eines Gases zuführen muss, um dasselbe um einen Grad zu erwärmen, wenn sich dabei nicht das Volumen, wohl aber der Druck ändert.

Die Bestimmung der specifischen Wärme c_p bei constantem Druck lässt sich z. B. nach der Mischungsmethode in analoger Weise durchführen wie bei den Flüssigkeiten. Gemessene Volumina der Gase werden aus einem Gasometer durch ein in einem Wasserbade befindliches langes Rohr geleitet und dann durch ein zweites, in einem Calorimeter liegendes Röhrensystem, wo sie ihre Wärme abgeben. Unter Berücksichtigung der vom Erwärmungsapparate durch Leitung an das Calorimeter übergegangenen Wärme, der Wärmeabgabe des Calorimeters nach aussen u. s. f. kann die specifische Wärme des Gases ganz ähnlich wie für andere Körper bei der Mischungsmethode berechnet werden.

Die experimentelle Bestimmung der specifischen Wärme c_v bei constantem Volumen ist kaum exact durchzuführen. Deshalb misst man das Verhältniss $k = c_p/c_v$ bei den specifischen Wärmen und berechnet dann $c_v = c_p/k$.

1. Bestimmung des Verhältnisses der beiden specifischen Wärmen nach Clement und Desormes.

I. Princip. Man comprimirt in einem Gefässe eine gewisse Menge Gas und lässt dasselbe die Temperatur der Umgebung annehmen; dann

[1]) Bei der Wichtigkeit der Bestimmung und der Bedeutung der specifischen Wärmen der Gase für Chemiker schalten wir hier ein besonderes kurzes Capitel über diesen Gegenstand ein, obgleich er sich wegen seiner theoretischen und experimentellen Schwierigkeiten weniger für Uebungen von Anfängern eignet.

öffnet man für einen Augenblick das Gefäss, so dass der Druck der Atmosphäre und des Gases sich völlig ausgleicht. Dabei dehnt sich das Gas aus und kühlt sich ab, da es eine Arbeit leistet. Man schliesst das Gefäss wieder und lässt das Gas sich bis auf die Umgebungstemperatur erwärmen, dabei steigt der Druck.

Ist h der Druck des comprimirten Gases von der Temperatur t, h' der des Gases nach der Ausdehnung, wenn es wieder die Temperatur t angenommen hat, so kann man berechnen, dass angenähert:

$$k = \frac{c_p}{c_v} = \frac{h}{h - h'}.$$

II. Apparat. In die Tubuli einer dreifach tubulirten, grossen, wenigstens 10 Liter fassenden Glasflasche sind luftdicht eingesetzt: 1) ein weit durchbohrter Hahn H_1; 2) ein zu einem Schwefelsäuremanometer führendes Rohr; 3) ein Hahn H_2, der unter Zwischenschaltung einer mit Schwefelsäure gefüllten Wulff'schen Flasche mit der Luft communicirt.

III. **Uebung.** 1) Man schliesst den Hahn H_1, öffnet den Hahn H_2, presst durch die Wulff'sche Flasche trockene Luft in die grosse Flasche und schliesst den Hahn H_2.

2) Man wartet, bis das Manometer einen constanten Druck anzeigt und liest die Stellung der oberen und unteren Kuppe der Flüssigkeitssäule ab: h_o und h_u.

3) Man öffnet und schliesst rasch den Hahn H_1.

4) Das Manometer sinkt und steigt nach dem Schliessen erst schnell, dann langsamer; sowie seine Stellung constant geworden ist, liest man ab: h'_o und h'_u.

Dann ist, wenn s das specifische Gewicht der Schwefelsäure ist:

$$h = (h_o - h_u)/s, \quad h' = (h'_o - h'_u)/s, \quad k = \frac{h_o - h_u}{(h_o - h_u) - (h'_o - h'_u)}.$$

Beispiel: $h_o = 508$, $h_u = 41$ mm, $h = 467$. $h'_o = 326$, $h'_u = 225$, $h' = 101$. $k = 467 : 366 = 1{,}29$. Wenn man alle Wärmeverluste vermeiden könnte, würde man etwa 1,41 erhalten. Dies ist in um so höherem Maasse möglich, je grösser der das Gas enthaltende Raum ist; man hat mit sehr grossen Gefässen auch in der That $k = 1{,}41$ gefunden.

2. Bestimmung des Verhältnisses der specifischen Wärmen durch die Schallgeschwindigkeiten.

Princip: Ist u die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft, p der Druck des Gases, d seine Dichte und g die Beschleunigung durch die Schwere, so lässt sich nachweisen, dass:

$$u = \sqrt{\frac{g\,p}{d}\,k}.$$

Kennt man also u für ein Gas in Centimetern (zu ermitteln z. B. nach der S. 131 beschriebenen Methode mit Hülfe der Kundt'schen

Röhren), ferner d, so kann man, da g bekannt ist (= 981 cm) k berechnen; es ist

$$k = \frac{u^2 d}{g p}.$$

Bezeichnen die mit Index versehenen Buchstaben die analogen Grössen für irgend ein anderes Gas, so ist:

$$u' = \sqrt{\frac{g p'}{d'} k'}.$$

Untersucht man beide Gase bei demselben Drucke ($p = p'$), so ist:

$$\frac{u}{u'} = \sqrt{\frac{d' k}{d k'}}.$$

Nun ist aber (vergl. S. 128) $u = z\lambda$, wo z die Schwingungszahl eines Tones, λ seine Wellenlänge in dem betreffenden Gase ist; ferner ist $\lambda = 2l$, wo l der Abstand zweier Knoten in einer mit dem Gase gefüllten Kundt'schen Röhre ist; es ist also auch:

$$\frac{l}{l'} = \sqrt{\frac{d' k}{d k'}}, \quad \text{oder} \quad k' = k \frac{d' l'^2}{d l^2}.$$

Für Luft ist $k = 1{,}41$, man kann also k' für irgend ein Gas mit Hülfe der Staubfiguren in einer Kundt'schen Röhre bestimmen.

Uebung. 1) Man bestimmt in der auf S. 131 angegebenen Weise mit Hülfe der Kundt'schen Röhre l und l' für Luft und Kohlensäure.

2) Man berechnet k' für Kohlensäure, indem man beachtet, dass für diese $d' : d = 44 : 28{,}9 = 1{,}53$ ist.

Beispiel: Gefunden wurde $l' = 4{,}528$, $l = 5{,}948$; danach ist $k' = 1{,}25$.

Ist nach den besprochenen Methoden das Verhältniss c_p/c_v der specifischen Wärmen bei constantem Druck und constantem Volumen und die specifische Wärme bei constantem Druck c_p ermittelt, so ergiebt sich daraus auch diejenige c_v bei constantem Volumen.

Für Luft ist z. B. $c_p = 0{,}237$, $c_p/c_v = 1{,}41$; also $c_v = 0{,}168$.

Allgemeines.

1. Erwärmen wir ein Gas bei constantem Volumen, so dient die zugeführte Wärmemenge nur dazu, die Energie der Molecularbewegung entsprechend der Temperatursteigerung zu vergrössern; erwärmen wir das Gas bei constantem Druck, wobei es sich ausdehnt, so muss noch eine äussere Arbeit a geleistet werden, da der Atmosphärendruck zurückgeschoben werden muss; der Unterschied der beiden specifischen Wärmen $c_p - c_v$ ist die Wärmemenge, welche der Arbeit a entspricht, welche 1 g eines Gases bei der Ausdehnung durch die Erwärmung um 1^0 leistet. Ist J das mechanische Wärmeäquivalent, d. h. die Arbeit (vergl. S. 204) in Grammmetern, welche einer kleinen Calorie entspricht, so ist

$$J(c_p - c_v) = a.$$

Die Grösse a berechnet sich folgendermaassen: Ein Liter Luft wiegt 1,293 g; ein Gramm Luft nimmt also ein Volumen von 1/1,293 cbdm ein; einen Cylinder von 1 qdcm Basis erfüllt es also bis auf eine Höhe von 1/1,293 dm. In dieser Höhe sei der Cylinder durch einen gewichtslosen Stempel abgeschlossen, auf dem der Atmosphärendruck mit 100.76.13,6 g = 103 360 g lastet. Beim Erwärmen um 1° dehnt sich die Luft um 1/273 ihres Volumens bei 0° aus, der Stempel wird also um

$$\frac{1}{1{,}293}\cdot\frac{1}{273}\,\mathrm{dm} = \frac{1}{10}\cdot\frac{1}{1{,}293}\cdot\frac{1}{273}\,\mathrm{m} = 0{,}0\,002\,832\,\mathrm{m}$$

gehoben. Dabei wird eine Arbeit geleistet von

$$a = 103\,360\,.\,0{,}0\,002\,832 = 29{,}28 \text{ Grammmeter.}$$

Andererseits ist: $c_p - c_v = 0{,}237 - 0{,}168 = 0{,}069$,

also: $$J = \frac{a}{c_p - c_v} = \frac{29{,}28}{0{,}069} = 424{,}4 \text{ Grammmeter.}$$

Einer kleinen Calorie entspricht also eine Arbeit von 424,4 Grammmetern, einer grossen Calorie eine solche von 424,4 Kilogrammmetern. [Auf diese Weise hat Robert Mayer zuerst das mechanische Wärmeäquivalent bestimmt, 1842.]

2. Die Molecüle der Gase besitzen einmal eine translatorische Bewegung ihrer Schwerpunkte, andererseits eine rotatorische und oscillatorische Bewegung der einzelnen Atome. Aus dem Verhältniss der beiden specifischen Wärmen c_p/c_v ergiebt sich das Verhältniss der Energie der translatorischen Bewegung V_u zu der gesammten Energie V. Es ist:

$$\frac{V_u}{V} = \frac{3}{2}\left(\frac{c_p}{c_v} - 1\right).$$

Ist die gesammte Energie der Molecüle eine translatorische, rotiren und oscilliren dieselben also nicht, wie dies bei den Molecülen der einatomigen Gase sehr nahe der Fall ist, so ist:

$$V_u = V, \text{ also } V_u/V = 1 \text{ und } c_p/c_v = 1{,}66.$$

Kundt und Warburg haben in der That diesen Werth für den einatomigen Quecksilberdampf gefunden.

Sind die Molecüle der Gase aus mehreren Atomen zusammengesetzt, so ist stets neben der translatorischen Energie rotatorische und oscillatorische vorhanden, es ist $V_u < V$, $V_u/V < 1$ und $c_p/c_v < 1{,}66$. Bei Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff ist c_p/c_v in der That 1,41, $V_u/V = 0{,}62$. Je complicirter die Molecüle sind, je mehr Atome dieselben enthalten, um so kleiner ist im Allgemeinen c_p/c_v, ein um so grösserer Bruchtheil der Gesammtenergie kommt auf die rotatorische und oscillatorische Energie; so ist für CO_2 $k = 1{,}29$, $V_u/V = 0{,}43$.

XI. Schmelzwärme.

Gebraucht wird: Korbrührer (Fig. 104); Calorimeter; Wassermantel; Eis in einer grösseren Reibschale; gröbere Waage mit Gewichten.

I. Princip. Bei dem Uebergang eines Grammes eines Körpers aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand (vergl. S. 150) bei dem Schmelzpunkt T wird eine bestimmte Wärmemenge verbraucht, die latente Schmelzwärme L. Dieselbe ist gleich der Erstarrungswärme, welche beim Erstarren frei wird.

a) Bestimmung der latenten Schmelzwärme. Man kühlt ein Gewicht P des untersuchten Körpers auf eine unter der Schmelztemperatur T gelegene Temperatur T_1 ab und bringt ihn in ein Calorimeter, dessen Anfangstemperatur t_0 ist, die über der Schmelztemperatur liegt und welches eine solche Menge Flüssigkeit enthält, dass bei dem Schmelzen des Körpers die Temperatur nicht unter die Schmelztemperatur sinkt. Ist die Endtemperatur des Calorimeters t und ist c_1 die specifische Wärme der flüssigen Substanz, c die der festen, w_1 der Wasserwerth des Gefässes, in dem sich der zu untersuchende Körper befindet, w der des Calorimeters, W das Gewicht der Flüssigkeit in demselben, c_0 ihre specifische Wärme, so ist, falls wir die Strahlung etc. vernachlässigen:

$$(Wc_0 + w)(t_0 - t) = w_1(t - T_1) + P\{c(T - T_1) + L + c_1(t - T)\},$$

und:

$$L = \frac{(Wc_0 + w)(t_0 - t) - w_1(t - T_1) - P\{c(T - T_1) + c_1(t - T)\}}{P}.$$

Dem Einflusse der Strahlung wird durch Correction der Endtemperatur A in der S. 187 angegebenen Weise Rechnung getragen.

b) Bestimmung der Erstarrungswärme. Man erhitzt den Körper bis zu der Temperatur T_1, welche über der Schmelztemperatur T liegt, bringt ihn in ein Calorimeter, dessen Temperatur unter T liegt und lässt ihn hier erstarren. Dann ist:

$$(Wc_0 + w)(t - t_0) = w_1(T_1 - t) + P\{c_1(T_1 - T) + L + c(T - t)\},$$

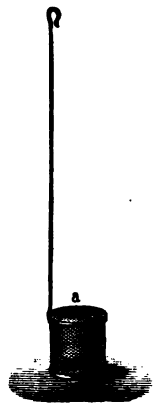
und:

$$L = \frac{(Wc_0 + w)(t - t_0) - w_1(T_1 - t) - P\{c_1(T_1 - T) + c(T - t)\}}{P}.$$

1. Latente Schmelzwärme des Eises.

II. Apparat. Zur Aufnahme des zerriebenen Eises dient ein Korbrührer, Fig. 104. Der aus Messinggaze gefertigte, 4 cm hohe, $3^1/_2$ cm weite Korb ist oben durch einen Deckel aus Drahtgaze verschliessbar. An einer Seite ist derselbe etwas eingebogen, so dass das Thermometer neben ihm Platz hat. Der Korb ist an einen 20 cm langen Messingdraht gelöthet; er dient gleichzeitig als Rührer. Als Calorimeter dient ein 9 cm hoher, 5 cm weiter Cylinder von vernickeltem Messingblech (Wassermantel, wie Fig. 98).

Fig. 104.



III. **Uebung.** 1) Man bestimmt das Gewicht des Calorimeters allein p und des Rührers p_1; dann ist der Wasserwerth des Calorimeters $w = p\sigma$, des Rührers $w_1 = p_1\sigma$.

2) Gewicht des zur Hälfte mit Wasser gefüllten Calorimeters p'.

3) Gewicht des Wassers $W = p' - p$.

4) Der Rührer wird mit abgetrockneten Eisstücken gefüllt. Man wählt die Menge derselben so, dass die Temperatur des Calorimeters nicht zu tief sinkt (1 g Eis erniedrigt beim Schmelzen die Temperatur von etwa 80 g Wasser um 1^0). Die Temperatur des Calorimeters sei t_0.

5) Der Rührer wird in das Calorimeter geführt; unter beständigem Rühren schmilzt das Eis, die Temperatur sinkt. Sowie Stillstand eintritt, liest man ab: Endtemperatur t.

6) Man wägt das Calorimeter mit Rührer, Wasser und geschmolzenem Eis, Gewicht p'', dann ist das Gewicht des Eises $P = p'' - p_1 - p'$.

IV. Berechnung. In der ersten Gleichung ist, da das im warmen Zimmer abgetrocknete Eis die Temperatur 0^0 hat, $T = T_1 = 0$, die specifische Wärme des Wassers $c_0 = c_1 = 1$, also

$$L = \frac{(W + w)(t_0 - t) - w_1 t - Pt}{P}.$$

Beispiel: $p = 12{,}7$; $w = 1{,}0$; $p_1 = 23{,}2$; $w_1 = 2{,}0$; $p' = 218{,}9$; $W = 206{,}2$ g; $t_0 = 16{,}4$; $t = 12{,}7$; $p'' = 250{,}2$; $P = 8{,}1$ g; $L = 78{,}8$.

2. Latente Schmelzwärme des Benzols.

I. Apparat. Andere Substanzen als Wasser bringt man in dünnwandige Glaskölbchen, erhitzt dieselben bei der Bestimmung der latenten Erstarrungswärme bis zum Schmelzen der Substanz und taucht sie dann in das Calorimeter (vergl. specifische Wärme der Flüssigkeiten). Sollte die geschmolzene Substanz in Folge von Ueberschmelzung nicht im Calorimeter erstarren, so wirft man ein Körnchen derselben im festen Zustande hinein.

Bei der Bestimmung der latenten Schmelzwärme setzt man die Glaskölbchen in ein Glas mit Alkohol, das sich in Eis oder in einer Kältemischung zugleich mit einem Thermometer befindet, und lässt die in ihnen eingeschlossene Substanz erstarren.

II. **Uebung.** 1) Ein mit Benzol gefülltes, zugeschmolzenes kleines Glasgefäss, wie es bei der Methode nach Kopp, S. 189, verwendet wird, vom Wasserwerthe w_1, in welches eine Benzolmenge von bekanntem Gewicht P eingeschlossen ist, wird in einer Eiswassermischung bis auf 0^0 abgekühlt und dadurch das Benzol zum Erstarren gebracht (Erstarrungstemperatur $T = 4{,}4^0$).

2) Man bringt das schnell getrocknete Gefäss in das Calorimeter und verfährt wie oben.

Berechnung. Hier ist $c_0 = 1$; $T_1 = 0$; $T = 4{,}4$; $c = 0{,}5$; $c_1 = 0{,}42$ und

$$L = \frac{(W + w)(t_0 - t) - w_1 t - P\{cT + c_1(t - T)\}}{P}.$$

Beispiel: $P = 5{,}795$ g; $w_1 = 0{,}36$; $t_0 = 16{,}4$; $t = 14{,}4$; $W + w = 103{,}3$ g; $L = 28{,}4$.

XII. Verdampfungswärme.

Gebraucht wird: Ein Calorimeter mit Rührer und Thermometer; ein Kolben mit Dreifuss, Drahtnetz und einem Bunsenbrenner, einem Verbindungsrohr, Gestell mit Schirm und Tischchen; eine grössere Waage mit grösserem Gewichtssatze; Spritzflasche mit Wasser; Aethylalkohol.

Einleitung. Soll eine Flüssigkeit bei ihrer Siedetemperatur in Dampf verwandelt werden, so muss man ihr eine bestimmte Wärmemenge zuführen: die Verdampfungswärme. Dabei hat der entstandene Dampf die gleiche Temperatur wie die verdampfende Flüssigkeit; bei fortgesetzter Wärmezufuhr tritt keine Temperatursteigerung ein, bis alle Flüssigkeit verdampft ist. Die bei dem Verdampfungsprocesse dem Körper zugeführte Wärmemenge kommt also nicht durch eine Erhöhung der Temperatur zum Ausdruck, sie wird latent.

I. Princip. Wir führen eine Flüssigkeitsmenge von p g und der Temperatur t dadurch in den Dampfzustand über, dass wir sie zunächst durch zugeführte Wärme auf ihre Siedetemperatur T erhitzen; dazu brauchen wir die Wärmemenge $pc(T-t)$, wenn c die mittlere specifische Wärme der Flüssigkeit zwischen den Temperaturen T und t bedeutet. Dann verwandeln wir sie in Dampf von der Temperatur T durch weitere Wärmezufuhr. Ist L die latente Dampfwärme für die Gewichtseinheit, so brauchen wir zur Verdampfung der ganzen Flüssigkeitsmenge pL cal. Im Ganzen müssen wir also

$$pc(T-t) + pL \text{ cal.}$$

zuführen. Die gleiche Wärmemenge wird umgekehrt abgegeben, wenn sich p g Dampf condensiren und die gebildete Flüssigkeit sich auf t^0 abkühlt.

Leiten wir daher die Dampfmenge p in ein Calorimeter von dem Wasserwerthe w ein, in welchem sich die Wassermenge W befindet und dessen Anfangstemperatur t_0 ist, und finden wir eine Temperaturerhöhung bis auf t^0, so ist:

$$(W+w)(t-t_0) = p[c(T-t) + L].$$

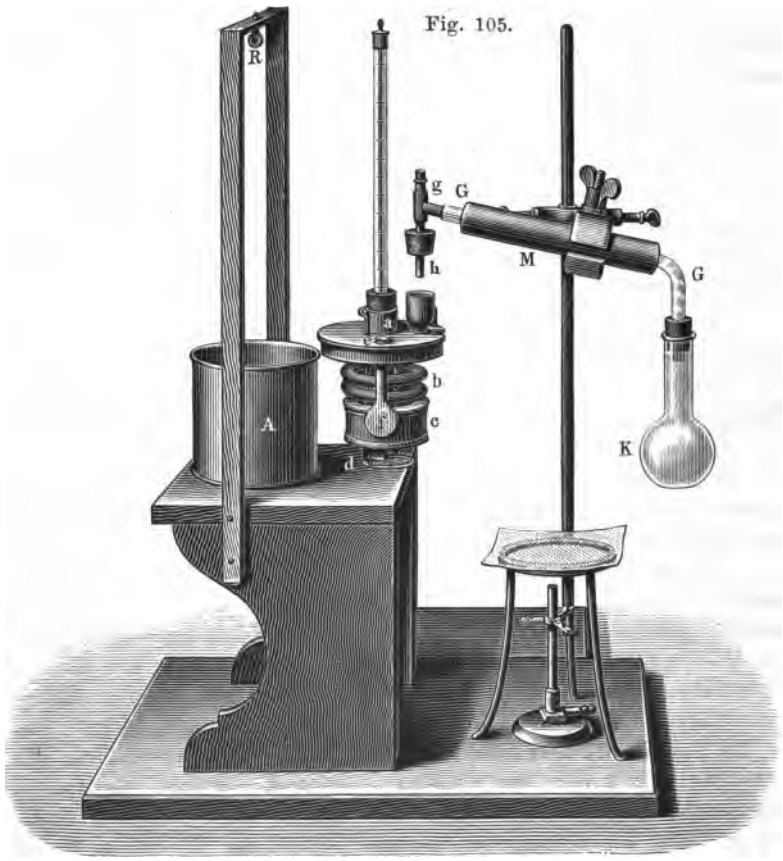
Soll dem Wärmeverlust durch Strahlung während des Versuches Rechnung getragen werden, so verfährt man, wie weiter unten an-

gegeben ist. Entspricht der Wärmeverlust einer Temperaturerniedrigung δ, so ist die latente Dampfwärme L:

$$L = \frac{(W+w)(t-t_0+\delta) - pc(T-t)}{p}.$$

II. Apparat. Das Calorimeter A, Fig. 105 (nach Schiff), besteht aus einem 10 bis 11 cm weiten, cylindrischen Messinggefäss, dessen Deckel fünffach durchbohrt ist. Die mittlere, mit einem kurzen Hals

Fig. 105.



versehene Oeffnung a dient zur Aufnahme des durch einen Korkstopfen gesteckten Thermometers, eine mehr seitlich gelegene Oeffnung entspricht dem Schlangenrohr b, welches sich absteigend dreimal herumschlingt und in einen nahe dem Calorimeterboden befindlichen, ringförmigen Kasten c endet. Zwischen diesem und dem Thermometer bewegt sich ein ringförmiger Rührer d, dessen zwei Träger durch die der Mitte nächsten beiden Deckelöffnungen gehen. Zu der letzten Oeffnung e endlich geht von dem Kasten ein senkrechtes Rohr f empor.

In die Mündung des Schlangenrohres wird mittelst Korkstopfens ein Kniestück g eingesetzt. In dasselbe reicht das Röhrchen h bis nahe an das obere Ende hinein. Dadurch wird vermieden, dass die zwischen Verdampfungsgefäss und Calorimeter condensirte Flüssigkeit in das Calorimeter hinabläuft und wird erreicht, dass nur Dampf in dasselbe eintritt.

Die Flüssigkeit wird in einem auf einem Dreifuss mit Drahtnetz stehenden Glaskölbchen K von ca. 100 cbcm Inhalt zum Sieden gebracht. Wenn Alkohol und dergl. untersucht wird, so ist ein Stück Asbestpappe auf den Dreifuss zu legen. Die Dampfüberleitung geschieht durch das Glasrohr G; dasselbe ist mit Watte umwickelt und durch das blanke Metallrohr M geschoben.

Ein doppelter, beiderseitig mit Stanniol beklebter Schirm hält jede Wärmestrahlung vom Calorimeter ab. Dieses wird ausserdem zum Schutze gegen Luftströmungen mit einem 18 cm weiten Pappcylinder umgeben (beide sind nicht in der Figur gezeichnet). Das Ganze steht auf einem Bretterstativ von der aus der Figur ersichtlichen Anordnung; der Rührer wird durch einen an ihn angeknüpften und über die Rolle R gelegten Faden vom Beobachter in Bewegung gesetzt.

III. **Uebung.** 1) Man wägt das Calorimeter mit Deckel, aber ohne Thermometer und Zuleitungsstück g; Gewicht: p'. Dann ist $p'\sigma = w'$ der Wasserwerth des Calorimeters, und wenn w'' der Wasserwerth des Thermometers ist, so ist $w' + w'' = w$ der gesammte Wasserwerth.

2) Gewicht des Calorimeters mit dem Thermometer: p_1.

3) Man füllt das Calorimeter mit Wasser bis etwa 1 cm vom oberen Rande; Gewicht mit Thermometer: p_2, also die im Calorimeter enthaltene Wassermenge: $W = p_2 - p_1$.

4) Nach diesen Wägungen wird das Calorimeter auf das Stativ gestellt, das Thermometer hinlänglich tief eingetaucht, der Pappmantel darüber geschoben, die Verbindung mit dem Erwärmungsgefäss durch das Kniestück g hergestellt und erhitzt. Man verfolgt den Gang des Thermometers und schreibt den Stand desselben von Minute zu Minute auf. Eine Zeit lang steigt das Thermometer langsam, ohne dass Dampf in das Calorimeter einströmt, in Folge von Wärmeübertragung durch Zuleitung; sowie aber die Flüssigkeit so weit erwärmt ist, dass sich hinreichende Dampfmengen entwickeln und in das Calorimeter hinübertreten, steigt die Temperatur desselben schnell an. In diesem Momente liest man die Temperatur ab und benutzt sie als Anfangstemperatur t_0.

5) Der Dampf wird so lange eingeleitet, bis die Temperatur des Calorimeters um 10 bis 20° gestiegen ist [1]). Dann unterbricht man die Dampfentwicklung und liest die Endtemperatur t ab.

---

[1]) Wir lassen in den Uebungen trotz des dadurch bedingten grossen Wärmeverlustes durch Strahlung die Temperatur so hoch steigen, damit einerseits die Menge des übergegangenen Dampfes nicht zu klein ausfalle und damit andererseits gerade der Einfluss der Strahlung recht augenfällig werde.

6) Man liest während 10 Minuten von Minute zu Minute die Temperatur ab.

7) Man nimmt das Calorimeter vom Stative und bringt es mit dem Thermometer auf die Waage. Gewicht: p_3. Also ist das Gewicht des condensirten Dampfes: $p_3 - p_2 = p$.

Die Uebung wird mit Wasser und Alkohol angestellt.

IV. Berechnung des Einflusses der Strahlung. Während sich das Calorimeter über die Temperatur der Umgebung erwärmt, erfährt es fortwährend einen Wärmeverlust, der um so grösser ist, je höher seine Temperatur über der Temperatur der Umgebung liegt (s. oben S. 186).

Die Endtemperatur t würde daher eine höhere geworden sein, wenn die Strahlung nicht vorhanden gewesen wäre, man muss sie also um einen Betrag von δ^0 vermehren. Diese Correction δ erhält man aus den Ablesungen vor und nach dem Versuch.

Der Wärmeverlust würde sich, falls keine Wärmezufuhr stattfände, in einer Abkühlung des erwärmten Körpers zeigen und wäre dieser proportional. Man kann die Annahme machen, dass er in gleichen Zeiten dem Temperaturüberschuss des erwärmten Körpers über die Temperatur der Umgebung proportional ist. Ist z. B. die Temperaturerniedrigung des Körpers bei einem Temperaturüberschuss von 1^0 in 1 Minute a, so ist er bei einem Temperaturüberschuss von x^0 gleich ax. Beobachten wir während ϑ Minuten eine Temperaturerniedrigung von y^0, während der Temperaturüberschuss x^0 beträgt, so ist die mittlere Temperaturerniedrigung α in 1 Minute:

$$\alpha = \frac{y}{\vartheta} = ax. \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

Es sei t_n die Temperatur der Umgebung, t_o die Temperatur am Anfange des Versuches zur Zeit z_1, t_e diejenige im Momente des Eintretens von Dampf in das Calorimeter zur Zeit z_2, t die Endtemperatur, bei der die Dampfeinleitung abgebrochen wird, zur Zeit z_3, und t' die Temperatur ungefähr 10 Minuten nach Abschluss des Versuches zur Zeit z_4. Die einzelnen Abschnitte des Versuches dauern $\vartheta_1' = z_2 - z_1$, $\vartheta' = z_3 - z_2$, $\vartheta_2' = z_4 - z_3$. Während des ersten Abschnittes vor dem Einleiten des Dampfes ist der mittlere Ueberschuss der Temperatur des Calorimeters oder die Temperatur der Umgebung und die Temperaturänderung in einer Minute α_1:

$$x = \frac{t_o + t_e}{2} - t_n, \quad \text{und} \quad \alpha_1 = \frac{t_e - t_o}{\vartheta_1}.$$

Nach Gleichung 1) ist also vor dem Versuch:

$$\alpha_1 = \frac{t_e - t_o}{\vartheta_1} = a\left(\frac{t_o + t_e}{2} - t_n\right).$$

Ein analoger Werth ergiebt sich für die entsprechende Grösse nach dem Einleiten des Dampfes:

$$\alpha_2 = \frac{t - t'}{\vartheta_2} = a\left(\frac{t + t'}{2} - t_n\right).$$

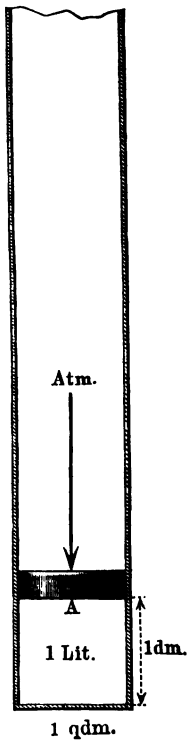
Die Gesammtausstrahlung während des Versuches ist nun nahezu so gross, als ob während der ganzen Dauer desselben die Temperatur des Calorimeters die mittlere von derjenigen am Anfang und am Ende desselben gewesen wäre, in der ersten Hälfte des Versuches ist sie kleiner, als die so berechnete, in der zweiten dagegen grösser; der mittlere Strahlungsverlust während des Einleitens des Dampfes pro Minute ist also nach (1):

$$\alpha = a\left(\frac{\frac{t_o + t_e}{2} + \frac{t + t'}{2}}{2} - t_n\right) = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}.$$

Man braucht daher zur Bestimmung von α die Temperatur der Umgebung t_n gar nicht mit zu beobachten, falls diese nur constant ist.

Der durch Strahlung erfolgende Verlust ist dann, wenn der Versuch ϑ Minuten gedauert hat: $\delta = \alpha\vartheta$.

Fig. 106.



Beispiel: $p' = 423{,}72$ g; $w' = 38{,}12$; $w'' = 0{,}38$; $w = 38{,}50$; $p_1 = 437{,}26$; $p_2 = 1218{,}59$; $W = 781{,}33$ g; $t_o = 18{,}2$; $t_e = 19{,}4$; $t = 40{,}7$; $t' = 38{,}9$; $\vartheta_1 = 18$; $\vartheta = 16$; $\vartheta_2 = 10$; $\alpha_1 = 0{,}07$; $\alpha_2 = 0{,}18$; $\alpha = 0{,}12$; $\delta = 1{,}9$.

Corrigirte Endtemperatur $t = 42{,}6$; $T = 99{,}3$; $p_3 = 1251{,}89$; $p = 33{,}30$ g; $L = 544$ cal. (der richtige Werth ist 536,5 cal.). Bei Alkohol ergab sich $L = 212$ cal.

Allgemeines.

Die zugeführte „latente Dampfwärme" entspricht einer geleisteten Arbeit und zwar entspricht 1 Cal. (kg, ^{0} Cels.) 424,4 kgm (s. oben).

Mit dieser Wärme — resp. Arbeitsmenge — wird bei dem Verdampfungsprocess zweierlei geleistet:

1) eine innere Arbeit, d. i. die Arbeit, welche nöthig ist, um die Cohäsionskräfte zwischen den einzelnen Flüssigkeitstheilchen zu überwinden und die Theilchen von einander zu entfernen. Die dieser Arbeit entsprechende Wärmemenge heisst: die innere latente Verdampfungswärme.

2) Eine äussere Arbeit. Wenn eine Flüssigkeit verdampft, so vergrössert sich ihr Volumen, sie muss also die auf ihr lastende Atmosphäre um einen gewissen Betrag zurückschieben. Wir wollen die hierzu zu verwendende Arbeit berechnen und dabei das Wasser zu Grunde legen.

1 Liter oder 1 cbdm Wasser verdampfe bei 760 mm Druck bei 100^0 in einem Cylinder vom Querschnitt $A = 1$ qdm Querschnitt (Fig. 106). Er giebt dabei rund 1600 Liter Wasserdampf, welche im Cylinder eine Höhe von 160 m einnehmen. Dabei ist die Last der Atmosphäre um

1600 dm = 160 m zu heben. Das auf der Fläche A von 1 qdm lastende Gewicht der Atmosphäre entspricht aber dem Gewicht einer Quecksilbersäule von 7,6 dm Höhe und 1 qdm Basis oder dem Gewicht von 7,6 Liter Quecksilber, d. h. $7{,}6 \times 13{,}6 = 103{,}36$ kg (vgl. S. 202). Dieses Gewicht wird um 160 m gehoben, die geleistete Arbeit ist also:

$$103{,}36 \times 160 = 16\,540 \text{ kg.m.}$$

Die dieser Arbeit entsprechende Wärmemenge heisst: die äussere latente Verdampfungswärme.

Sie ist, da das mechanische Wärmeäquivalent 424,4 kg.m beträgt, gleich $16\,540/424{,}4$ = ca. 39 Wärmeeinheiten = 39 Cal.

Da die ganze latente Dampfwärme bei 100^0 536,5 Cal. beträgt, so ist die innere latente Verdampfungswärme $536{,}5 - 39 = 497{,}5$ Cal.

XIII. Lösungswärme.

Gebraucht wird: Ein Calorimeter mit dem schon oben (S. 210) beschriebenen Korbrührer im Wassermantel (Fig. 183); ein feineres Thermometer; eine gröbere Waage; Kochsalz (specifische Wärme einer 20 proc. Lösung = 0,861; Aenderung pro Procent — 0,005); Salmiak (specifische Wärme einer 15 proc. Lösung = 0,890; Aenderung pro Procent — 0,005).

Lösungswärme ist diejenige Wärmemenge, welche verbraucht oder entwickelt wird, wenn die Gewichtseinheit irgend eines Körpers in eine Lösung von bestimmter Concentration übergeführt wird. Die „moleculare Lösungswärme" erhält man, wenn man diese Lösungswärme mit dem Moleculargewicht M der gelösten Substanz multiplicirt.

Wir betrachten zunächst nur die Fälle, wo bei dem Lösungsprocesse keine Hydratbildung stattfindet.

I. Princip: Man löst eine abgewogene Menge des Körpers in einer abgewogenen Menge des in einem Calorimeter mit Thermometer enthaltenen Lösungsmittels von gleicher Temperatur wie der Körper und beobachtet die dabei eintretende Aenderung der Temperatur. Aus derselben ergiebt sich die Anzahl der verbrauchten oder entwickelten Calorien; die specifische Wärme der entstandenen Lösung wird dabei als bekannt angesehen; an ihrer Stelle kann man bei sehr verdünnten Lösungen die specifische Wärme des Lösungsmittels benutzen.

Ist q die Lösungswärme, p das Gewicht der gelösten Substanz, P das Gewicht des Lösungsmittels, also $P + p$ das Gewicht der resultirenden Lösung, c deren specifische Wärme, w der Wasserwerth des Calorimeters und Thermometers, t_0 die Anfangstemperatur, t die Endtemperatur, so ist $[(P + p)\, c + w]\, (t - t_0)$ die erzeugte (wenn dieser Ausdruck positiv), resp. (wenn er negativ ist) die verbrauchte Wärmemenge, also die Lösungswärme:

$$q = \frac{[(P + p)\, c + w]\, (t - t_0)}{p}$$

und die moleculare Lösungswärme:

$$Q = M \frac{[(P + p)\, c + w]\, (t - t_0)}{p}.$$

II. Apparat. Wie bei der Bestimmung der Schmelzwärme des Eises (S. 239).

III. Uebung. 1) Gewicht des Calorimeters mit dem korbförmigen Rührer: p'; Wasserwerth desselben: $w' = p' \sigma$ (σ specifische Wärme des Materials, aus dem beide bestehen).

2) Gewicht des Rührers p_1.

3) Das Calorimetergefäss (ohne Rührer) wird tarirt und eine bestimmte Quantität Wasser P, z. B. 100 g, hineingebracht.

4) Das Calorimeter wird in den Calorimetermantel gestellt, das Thermometer eingesenkt und das Ganze zugedeckt. Während das Calorimeter die Temperatur seiner Umgebung annimmt, wird

5) eine gewisse Salzmenge locker in den Rührerkorb geschüttet; Gewicht des Rührers mit Salz p_2. Das Gewicht des Salzes ist: $p = p_2 - p_1$.

6) Der gefüllte Rührer wird eine Zeit lang neben das Calorimeter in den Wassermantel gestellt, damit er die gleiche Temperatur wie dieses annimmt. Beobachtung der Anfangstemperatur t_0.

7) Der Rührer wird in das Calorimeter eingesenkt; unter fortwährendem Rühren beobachtet man den Gang des Thermometers. Sowie sich alles Salz gelöst hat, bleibt die Temperatur eine Zeit constant: Endtemperatur t [1]).

Bemerkung. Bei zerfliesslichen Salzen wird die gelöste Salzmenge erst nach der Lösung aus der Gewichtszunahme des Calorimeters berechnet.

Beispiel. Salmiak in Wasser gelöst: $p' = 39{,}2$ g (Messing), $w' = 3{,}53$; $p_1 = 25{,}38$, $P = 100{,}00$; $p_2 = 39{,}39$, $p = 14{,}01$ g; $t_0 = 15{,}70^0$; $t = 6{,}10$.

Aus den oben (S. 218) gegebenen Zahlenwerthen ergiebt sich die specifische Wärme der entstandenen 14 proc. Lösung zu 0,895. Der Wasserwerth δ des Thermometers wurde zu 0,35 gefunden. Demnach ist der Gesammtwasserwerth des Calorimeters $w = 3{,}88$.

Man erhält daher für die Lösungswärme $q = -72{,}6$ cal.

Da das Moleculargewicht M des verwendeten Salzes gleich 53,5 ist, so ist die moleculare Lösungswärme $Q = qM = -72{,}6 \times 53{,}5 = -3884$ cal. oder $-3{,}9$ cal. Bei Kochsalz ergab sich $Q = -1{,}2$ cal.

IV. Allgemeines. Die Lösungswärme eines festen Körpers setzt sich aus vier Theilen zusammen. Statt nämlich den Körper direct zu lösen, können wir uns vorstellen, 1) derselbe werde geschmolzen, dann seien 2) seine Molecüle auf so grosse Abstände gebracht, wie sie zwischen ihnen in der Lösung vorhanden sind, darauf werde er 3) mit dem Lösungsmittel gemischt, das selbst 4) vorher auf das grössere oder kleinere Volumen gebracht ist, welches es in der Lösung einnimmt.

---

[1]) Bei den oben genannten leicht löslichen Salzen geht der Process so rasch vor sich, dass ein Corrigiren der Endtemperatur wegen Strahlung kaum nöthig ist. Sinkt die Temperatur sehr tief unter die Temperatur der Umgebung, so kann eine Complication durch Condensation von Wasserdampf auf den Calorimeterwänden eintreten; wir begnügen uns, auf diese Fehlerquelle aufmerksam zu machen.

Die erste Wärmemenge entspricht der Schmelzwärme, die zweite bei sehr verdünnten Lösungen, bei denen die Abstände der Molecüle gross sind, der Verdampfungswärme, die dritte endlich stellt die bei der Verbindung von gelöstem und lösendem Körper frei werdende Wärmemenge dar, die vierte ist die Ausdehnungswärme des Lösungsmittels.

Beim Mischen einer Flüssigkeit mit einer anderen fällt die Schmelzwärme fort.

Von allen diesen thermischen Processen wissen wir nur sehr wenig. Schmelzwärmen kennen wir nur wenige, die Ausdehnungswärmen nur in den seltensten Fällen, so dass auch nicht zu verwundern ist, dass noch keine einfachen Beziehungen zwischen den Lösungswärmen der verschiedenen Körper gefunden wurden.

XIV. Thermochemische Processe.

Wärmeentwickelung bei chemischen Processen.

Die Thermochemie behandelt die bei chemischen Processen auftretenden Wärmemengen oder Wärmetönungen. Man hat dieselben durch Nebeneinanderstellung der durch ein Komma getrennten Formeln der auf einander wirkenden Substanzen, welche zugleich die Mengen derselben angeben, dargestellt. So bedeutet (C, O_2) die bei der Bildung von CO_2 aus C und O_2 entwickelte Wärmemenge, (CO, O) die bei der Bildung von CO_2 aus CO und O entwickelte, ein beigesetztes aq. heisst, dass die Bildung der Verbindung in Gegenwart von viel Wasser stattgefunden hat, also in einer Lösung vor sich gegangen ist. So ist z. B. (KHO aq., HCl aq.) die Neutralisationswärme von 1 Mol. Kalihydrat und 1 Mol. Chlorwasserstoffsäure in sehr verdünnter Lösung; $(H_2, Cl_2, aq.)$ die Bildungswärme des Chlorwasserstoffs aus Wasserstoff und Chlor in Gegenwart von viel Wasser, in dem sich derselbe dann löst.

Als Ausgangspunkt für alle thermochemischen Betrachtungen dient der folgende Satz:

Ein System einfacher oder zusammengesetzter Körper sei unter bestimmten Verhältnissen gegeben; dasselbe erfahre physikalische und chemische Veränderungen, welche das System in einen neuen Zustand überführen, ohne dass dabei eine äussere Arbeit geleistet wird. Dann hängt die bei diesen Aenderungen erzeugte oder verbrauchte Wärmemenge nur von dem Anfangszustand und Endzustand des Systems ab und ist unabhängig von der Art und Reihenfolge der Zwischenzustände.

Beispiel: Es ist $(C, O_2) = (C, O) + (CO, O)$, d. h. die Wärmeentwicklung bei der Verbrennung von 1 Atom Kohlenstoff zu Kohlensäure ist die gleiche, mag man direct den Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrennen oder ihn erst zu Kohlenoxyd und dieses dann zu Kohlensäure verbrennen.

Die Versuche haben in der That ergeben:

$(C, O_2) = 94$ Cal. $(C, O) = 25{,}8$ Cal. $(CO, O) = 68{,}2$ Cal., also $(C, O) + (CO, O) = 94{,}0$.

Nach diesem Satz können wir z. B. aus den Verbrennungswärmen von Kohlenwasserstoffen die Bildungswärmen derselben aus Wasserstoff

und Kohlenstoff bestimmen. Es ist dieselbe gleich der Differenz ihrer Verbrennungswärme und der Summe der Verbrennungswärmen des in ihnen enthaltenen Kohlenstoffs und Wasserstoffs. So ist z. B.:

$$\left[C_n, H_m, \left(n + \frac{1}{4} m\right) O_2\right] = (C_n, H_m) + \left[C_n H_m, \left(n + \frac{1}{4} m\right) O_2\right]$$

$$\left[C_n, H_m, \left(n + \frac{1}{4} m\right) O_2\right] = (C_n, n O_2) + \left(H_m, \frac{1}{4} m O_2\right),$$

also:

$$(C_n, H_m) = (C_n, n O_2) + \left(H_m, \frac{1}{4} m O_2\right) - \left[C_n H_m, \left(n + \frac{1}{4} m\right) O_2\right].$$

Die ersten beiden Glieder rechts stellen die Verbrennungswärme von Kohlenstoff und Wasserstoff zu Kohlensäure und Wasser dar, das letzte die Verbrennungswärme des Kohlenwasserstoffs zu denselben Producten.

Die bei chemischen Reactionen direct gemessenen Wärmetönungen geben nicht die beim Zusammentreten der Atome auftretenden Wärmemengen resp. die ihnen entsprechenden Verluste an Arbeitsvermögen. Der thermische Process bei der Bildung von Chlorwasserstoffsäure aus Wasserstoff und Chlor z. B. ist der folgende:

$$-(H, H) - (Cl, Cl) + 2(H, Cl);$$

derjenige bei der Bildung von Kaliumchlorid aus Kalihydrat und Chlorwasserstoffsäure:

$$-(K, OH) - (H, Cl) + (K, Cl) + (H, OH).$$

Ausser den Bildungswärmen $+(H, Cl)$, $+(K, Cl)$, $+(H, OH)$ treten also noch die Trennungswärmen $-(Cl, Cl)$, $-(H, H)$, $-(H, Cl)$, $-(K, OH)$ auf. Ebenso enthalten die in dem Ausdruck für die Verbrennungswärmen auftretenden Glieder ausser der Verbindungswärme der Atome zu der Verbindung noch die Trennungswärme derselben aus den Molecülen H_2, O_2, C_x, durch deren Zufuhr H_2 und O_2 in den atomistischen Zustand und der Kohlenstoff C_x in den gasförmigen und atomistischen Zustand übergeführt werden.

Daher dürfte es kommen, dass noch relativ so wenige allgemeine Resultate auf thermochemischem Gebiete erzielt sind.

Von thermochemischen Processen behandeln wir die Neutralisationswärme und die Hydratationswärme.

1. Neutralisationswärme.

I. Princip. **Mischt man moleculare Mengen einer Säure und einer Basis mit einander, so findet dabei eine Wärmeentwickelung statt, welche man die Neutralisationswärme nennt. Bei einer mehrbasischen Säure kann man von einer Neutralisationswärme mit 1, 2 . . . *n* Aequivalenten Basis sprechen.**

Wenn man in verdünnten Lösungen 1 Mol. Säure SH, und 1 Mol. Basis ROH mischt, so tritt eine Wärmetönung auf:

$$Q = (\mathrm{ROH\,aq.,\ SH\,aq.}) = (\mathrm{RS, H_2O, aq.}).$$

Resultirt bei der Bildung eine Flüssigkeitsmenge P von der specifischen Wärme c und steigt die Temperatur um t^0, so ist, wenn man den Wasserwerth des Gefässes vernachlässigt:

$$Q = Pct.$$

Mischt man von zwei Lösungen, die je 1 Grammmolecül, d. h. eine dem Moleculargewicht entsprechende Anzahl Gramme der beiden Substanzen im Liter enthalten, also von Normallösungen gleiche Volumina, und zwar ein Mal solche, welche 1 Mol., das zweite Mal solche, die $1/x$ Mol. enthalten, so ist die Erwärmung dieselbe, da im zweiten Falle nur $1/x$ Q entwickelt, aber auch nur $1/x$ P Flüssigkeit erwärmt wird.

Wenn 1 Liter der einen Lösung mit 1 Liter der anderen Lösung vermischt wird und die Temperaturerhöhung gleich t^0 ist, die specifische Wärme und das specifische Gewicht der entstehenden Lösung gleich 1 gesetzt werden, was bei den meist angewandten relativ grossen Verdünnungen statthaft ist, so ist in grossen Calorien die Neutralisationswärme:

$$Q = 2t.$$

Fig. 107.

II. Apparat: In ein Wasserbad W von constanter Temperatur taucht zunächst ein Becherglas A, in welchem sich, gestützt auf Korke, ein zweites Becherglas B als Calorimeter [1]) befindet (Fig. 107). Auf dem Wasserbade liegt ein Holzdeckel H, welcher durch zwei Gewichte, S_1 und S_2, beschwert ist, um zu verhindern, dass das Glas A vermöge seines Auftriebes den Deckel H in die Höhe hebt. In dem Glase B soll die Mischung der Lösungen stattfinden, der Deckel hat deshalb über B erstens eine grosse Oeffnung a zum Eingiessen der Flüssigkeiten und zweitens eine kleine Oeffnung b zum Einführen des Thermometers. Zwei mit je zwei Marken versehene Reagenzgläser dienen dazu, gleiche Volumina der Flüssigkeiten abzumessen. Damit dieselben in das Wasserbad eingetaucht werden können, besitzt der Deckel die Oeffnungen c und d.

[1]) Bei genauen Messungen müssen die Calorimeter aus Platin bestehen.

III. **Uebung.** 1) Von den Reagenzgläsern wird das eine bis zur unteren Marke mit Normal-Salzsäure, das andere bis zu derselben Marke mit Normal-Natronlauge gefüllt.

2) Die Gläser werden in die Oeffnungen *c* und *d* eingesenkt, das Thermometer in *b* fast bis zum Boden des Glases *B* eingeführt. Nach einiger Zeit haben die beiden Flüssigkeiten die dem ganzen Apparate gemeinsame Temperatur t_1 angenommen. Dieselbe wird am Thermometer abgelesen.

3) Die Reagenzgläser werden mittelst mit Kork ausgelegten Klammern aus dem Wasserbade genommen, die Säure und die Basis durch *a* in das Glas *B* gegossen und die Temperaturerhöhung am Thermometer beobachtet. Ist dasselbe bis t_2 gestiegen, so ist die gesuchte Neutralisationswärme:

$$Q = 2(t_2 - t_1).$$

4) Der Versuch ist in gleicher Weise zu wiederholen, wenn die Reagenzgläser bis zur oberen Marke gefüllt sind.

Beispiel: 1) $t_1 = 13{,}87$; $t_2 = 20{,}02$; $Q = 2 \cdot 6{,}15 = 12{,}3$ Cal.
2) $t_1 = 15{,}01$; $t_2 = 21{,}11$; $Q = 2 \cdot 6{,}10 = 12{,}2$ Cal.

Die Zahlen sind etwas zu klein, da der Erwärmung des Glases nicht Rechnung getragen ist, und diese sich auch nur schwer berücksichtigen lässt.

5) Analoge Versuche werden mit Oxalsäure und Schwefelsäure angestellt.

Allgemeines.

Bei den starken Säuren und Basen ist die Neutralisationswärme stets dieselbe, gleichgültig, welche Säure und welche Basis man nehmen mag. Die Neutralisationswärme ist etwa 13,4 bis 14,1 Cal.

Bei Anwendung schwächerer Säuren erhält man etwas andere Resultate.

Diese Gleichheit der Neutralisationswärmen hat man unter Zugrundelegung der Anschauungen von Arrhenius, Ostwald etc., nach denen die starken Basen, Säuren und die Salze derselben in den Lösungen vollkommen in ihre Ionen (S. 174) zerfielen, zu erklären gesucht. Mischt man Lösungen, die äquivalente Mengen enthalten, so würde sich nach obigen Annahmen die ganze auftretende Wärmetönung auf diejenige reduciren, welche der Bildung von 1 Mol. H_2O aus H und HO entspräche. Mischt man zwei Lösungen, z. B. eine von KOH und eine solche von HCl, so wäre vor der Mischung vorhanden K, OH, H, Cl, nach der Mischung K, Cl, H_2O.

Weit complicirter ist das Verhalten von zweibasischen Säuren.

2. Bestimmung der Hydratationswärme.

Gebraucht wird: Calorimeter mit Korbrührer und Mantel (vgl. S. 210); Thermometer; gewässertes und ungewässertes Chlorcalcium (gepulvert); Waage und Gewichte.

I. Princip. Wollen wir die Hydratationswärme etwa bei der Hydratation von $CaCl_2$ zu $CaCl_2 + 6H_2O$, in Zeichen also $(CaCl_2, 6H_2O) = x$ bestimmen, so lösen wir 1) wasserfreies $CaCl_2$ in viel Wasser (Wärmetönung A), 2) $CaCl_2 + 6H_2O$ in viel Wasser (Wärmetönung B). Die Wärmetönung bei dem Process 1) besteht aus zwei Theilen: a) $(CaCl_2, 6H_2O)$, also der Hydratationswärme (positive Wärmetönung), b) $(CaCl_2 + 6H_2O, aq.)$, der Lösungswärme von $CaCl_2 + 6H_2O$ (negative Wärmetönung). Die Wärmetönung bei dem Processe 2) besteht aus der Wärmetönung $(CaCl_2 + 6H_2O, aq.)$.

Es ist

$$A = x + B \qquad x = A - B.$$

B ergiebt sich aber negativ zu $(-C)$ Calorien, so dass wird:

$$x = A + C.$$

II. Apparat. Wie bei latenter Schmelzwärme (S. 240).

III. **Uebung.** Process 1. 1) Gewicht des Calorimeters mit Korbrührer: q der Wasserwerth des Calorimeters $w = qs$. Der Wasserwerth des Thermometers sei δ (vergl. o. S. 184).

2) Gewicht des Rührers p''.

3) Das Calorimeter wird zur Hälfte mit Wasser von Zimmertemperatur gefüllt. Gewicht W_1'. Dann ist das Gewicht des Wassers $W_1 = W_1' - (p - p'')$.

4) In den Rührer wird eine nicht zu grosse Menge von dem ungewässerten Salz, das eine Zeit lang in einem verschlossenen Gefäss neben dem Calorimeter im Calorimetermantel gestanden hat, gethan (etwa 2 g auf 100 g Wasser).

5) Die Anfangstemperatur wird bestimmt: t_1.

6) Der Rührer wird in das Calorimeter gesenkt und durch Umrühren das Salz gelöst. Wenn die Temperatur constant geworden ist, liest man den Stand des Thermometers ab: T_1.

7) Das Calorimeter wird gewogen; Gewicht P_1'. Dann ist die Menge gelöster Substanz $P_1 = P_1' - p - W_1$.

Process 2. 1) Der Rührer wird getrocknet, das Calorimeter zur Hälfte mit Wasser gefüllt und gewogen; Gewicht W_2'.

2) Der Rührer wird mit dem gewässerten Salze gefüllt (etwa 10 g auf 100 g Wasser); Gewicht P_2'.

3) u. 4) wie oben unter 5) u. 6); Anfangstemperatur t_2; Endtemperatur T_2.

III. Berechnung. Process 1. Die entwickelte Wärmemenge ist $(W_1 + w + \delta + P_1)(T_1 - t_1)$, wenn die specifische Wärme der ent-

standenen Lösung gleich 1 gesetzt wird. Die pro Gewichtseinheit entwickelte Wärmemenge ist:

$$\frac{(W_1 + w + \delta + P_1)(T_1 - t_1)}{P_1} \text{ cal.}$$

Die einer dem Moleculargewicht M_1 (= 111) entsprechenden Gewichtsmenge zukommende Wärmetönung ist

$$A = \frac{(W_1 + w + \delta + P_1)(T_1 - t_1)}{P_1} M_1 \text{ cal.}$$

Process 2. Verbrauchte und dem Calorimeter entzogene Wärmemenge: $-(W_2 + w + \delta + P_2)(t_2 - T_2)$, wo $W_2 = W_2' - (p - p'')$. Die dem Moleculargewicht M_2 (= 219) entsprechende Wärmetönung:

$$B = \frac{-(W_2 + w + \delta + P_2)(t_2 - T_2)}{P_2} M_2 = -C;$$

$$x = A - (-C) = A + C.$$

Beispiel: 1) $p = 35$; $\delta = 0{,}3$; $w = 3{,}5$; $P_1 = 2$ g; $W_1 = 100$ g; $t_1 = 17{,}46^0$; $T_1 = 20{,}12^0$. Wärmetönung: $105{,}8 \cdot 2{,}66 = 281$ cal.; $A = +15\,596$ cal. oder 16,0 Cal.

2) $P_2 = 10$ g; $W_2 = 100$ g; $t_2 = 17{,}40^0$; $T_2 = 15{,}66^0$. Wärmetönung: $-113{,}8 \cdot 1{,}74 = -198$ cal.; $B = -4336 = -C$ oder $C = 4{,}3$ Cal. Also $x = 20{,}3$ Cal.

C. Optik.

Einleitung.

Das Licht besteht aus schwingenden Bewegungen eines im Weltraume und in den einzelnen Körpern verbreiteten Stoffes, des sogenannten Lichtäthers. Diese Anschauung von dem Wesen des Lichtes hat sich allmählich gegenüber derjenigen von Newton, der die Lichtstrahlen als durch kleine, fortgeschleuderte Theilchen gebildet ansah, Bahn gebrochen.

Die Schwingungen im Lichtäther erfolgen senkrecht zu der Fortpflanzungsrichtung des Lichtstrahles, sie sind transversal; im Gegensatz zu denen des Schalles in der Luft, die longitudinal sind.

Die Optik, die Lehre vom Licht, lässt sich in zwei Theile zerlegen.

1. Wir betrachten einen gegebenen Lichtstrahl und untersuchen die Veränderungen, die er erfährt, wenn er auf andere Körper trifft und an ihnen reflectirt oder gebrochen wird, wenn er mit einem anderen, von derselben Lichtquelle ausgegangenen Strahl sich schneidet: Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz, Polarisation.

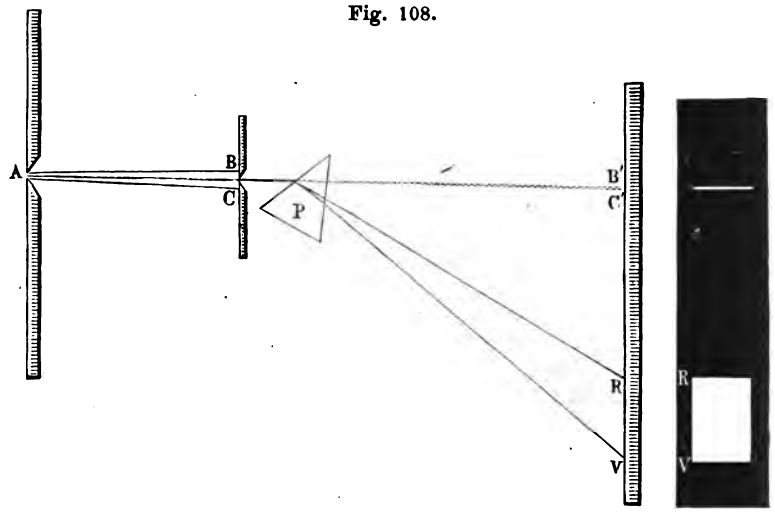
2. Wir ermitteln die Ursachen, die einen Lichtstrahl hervorrufen, den Zusammenhang zwischen seiner Beschaffenheit und der Natur des ihn aussendenden Körpers, wir ermitteln die Ursachen der Lichtabsorption und den Zusammenhang zwischen ihr und der Constitution des absorbirenden Körpers: Spectralanalyse.

Selbstverständlich greifen die beiden Gebiete mannigfach in einander.

In der chemischen Optik werden die Beziehungen zwischen den chemischen und optischen Eigenschaften der Körper behandelt.

Geht ein weisser Lichtstrahl AB (Fig. 108) durch einen Spalt A und von dort durch ein Prisma P und fangen wir ihn auf einem weissen Schirm auf, so sehen wir ein Farbenband, ein Spectrum. Dasselbe besteht aus Roth (R), Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett (V), die continuirlich in einander übergehen (vergl. Fig. 128, S. 253). Das Roth ist am schwächsten, das Violett am stärksten aus der ursprünglichen Richtung abgelenkt. Blendet man aus diesem Spectrum durch einen vorgestellten Spalt irgend einen schmalen Theil aus und lässt ihn auf ein

Fig. 108.



zweites Prisma fallen, so ändert er beim Durchgang durch dasselbe seine Farbe nicht mehr. Er ist homogen.

Ist v die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes und bezeichnet man, wie bei jeder anderen schwingenden Bewegung, als Wellenlänge λ die Strecke, um die sich die Bewegung während der Schwingungsdauer T, d. h. der Zeit, die zu einem Hin- und Hergange des schwingenden Körpers nöthig ist, fortpflanzt, so erhält man:

$$\lambda = v\,T = \frac{v}{z},$$

wo z die Schwingungszahl ist, d. h. die Zahl der Schwingungen in einer Secunde.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit v ist im luftleeren Raume für Strahlen von jeder Schwingungsdauer gleich und beträgt nahezu 300000 km in der Secunde. In den Körpern ist dieselbe für die Strahlen von verschiedener Schwingungsdauer verschieden.

Durch die Schwingungsdauer T ist die Farbe der homogenen Strahlen bestimmt, wie in der Akustik durch die entsprechenden Grössen die Tonhöhe.

Die Schwingungsdauern T nehmen vom Roth zum Violett ab, ebenso die Wellenlängen λ. Dagegen wachsen die Schwingungszahlen ε; es ist im luftleeren Raum:

für das mittlere Roth: $T = 1/500$ Bill. Sec., $\lambda = 600\,\mu\mu$, $\varepsilon = 500$ Bill.,
für das mittlere Violett: $T = 1/750$ „ „ $\lambda = 400\,\mu\mu$, $\varepsilon = 750$ „

wo $\mu\mu$ Milliontel Millimeter bedeuten.

Das Spectrum erstreckt sich noch über das Roth als Infraroth (sog. dunkle Wärmestrahlen) und über das Violett als Ultraviolett (sog. chemische Strahlen) hinaus; es rufen indess auch die sichtbaren und ultravioletten Strahlen Wärmewirkungen hervor, und können die sichtbaren und infrarothen Strahlen chemische Wirkungen erzeugen.

I. Photometrie.

Gebraucht wird: Die optische Bank; ein Träger mit einem Licht; ein Träger mit vier Lichtern; ein Träger mit dem Bunsen-Jolly'schen Photometer; ein Träger mit dem Joly'schen Diffusionsphotometer; ein Träger mit dem Lummer-Brodhun'schen Photometer; eine Gaslampe mit Rundbrenner und Cylinder auf einem Träger; ein Flachbrenner auf einem Träger; zwei Absorptionsgläser.

Einleitung. Die von einem leuchtenden Theilchen a ausgehende Lichtbewegung breitet sich in einem nach allen Richtungen hin gleich beschaffenen Medium (z. B. der Luft des Zimmers) nach allen Richtungen gleich schnell aus, die in einem gegebenen Momente in a erregte Bewegung setzt daher nach Verlauf einer beliebigen Zeit die auf einer um a beschriebenen Kugeloberfläche gelegenen Theilchen in Bewegung. Bei doppelt so grossem Abstand von dem leuchtenden Theilchen a verbreitet sich die Bewegung über eine viermal so grosse Fläche, sie übt auf der Flächeneinheit also eine viermal geringere Wirkung aus, als auf der Flächeneinheit der Kugel vom Radius 1. Daher nimmt die Erleuchtung derselben Flächengrösse bei senkrechter Incidenz der Strahlen auf dieselbe ab umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung, d. h. umgekehrt proportional dem Quadrate des Radius der um die Lichtquelle beschriebenen Kugel, welcher die Fläche angehört.

I. Princip. Will man die Helligkeiten i_1 und i_2 zweier Lichtquellen 1 und 2 mit einander vergleichen, d. h. die Erleuchtung, welche dieselben einem Schirme ertheilen, der von beiden gleich weit entfernt ist, so geht man von folgender Betrachtung aus: Beleuchtet man mit einer Lichtquelle, welche in der Entfernung 1 einem Schirme die Helligkeit i_1 ertheilen würde, denselben aus der Entfernung r_1, so ist die Helligkeit des Schirmes $I_1 = \frac{i_1}{r_1^2}$. Ebenso ist die Helligkeit I_2 des Schirmes, wenn er durch eine Lichtquelle i_2 in der Entfernung r_2 beleuchtet wird, $I_2 = \frac{i_2}{r_2^2}$. Suchen wir nun für die Entfernungen r_1 und r_2 von dem Schirm, bei denen er durch die beiden Lichtquellen gleich hell erleuchtet erscheint, so ist $I_1 = I_2$, also

$$\frac{i_1}{r_1^2} = \frac{i_2}{r_2^2} \quad \text{und} \quad \frac{i_1}{i_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}.$$

Die Intensitäten beider Lichtquellen verhalten sich direct wie die Quadrate der Entfernungen, aus denen sie die Schirme gleich stark beleuchten.

Die Instrumente, mit deren Hülfe man diese Vergleichung vornimmt, nennt man Photometer. Gebräuchliche Formen derselben sind das Bunsen'sche Photometer in seinen verschiedenen Abarten, das Joly'sche Diffusionsphotometer und das Lummer-Brodhun'sche Photometer über das Spectrophotometer s. w. u., welche auf einer optischen Bank beweglich sind.

Als Lichteinheit dient das Licht einer Kerze von bestimmter Beschaffenheit, das Licht einer Amylacetatlampe oder das von 1 qcm schmelzenden Platins in senkrechter Richtung ausgesandte Licht.

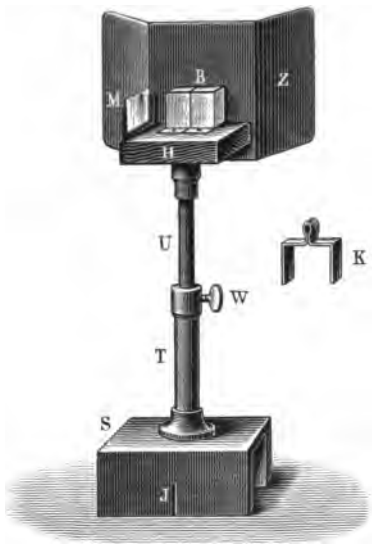
II. Apparate. Die optische Bank besteht etwa aus einer 7 cm breiten, $2^1/_2$ m langen Holzlatte, welche an einer Seite eine Theilung in Centimeter besitzt und durch zwei darunter befestigte, längere Fussbrettchen getragen wird. Auf ihrer Mitte ist ihrer ganzen Länge nach eine 6 cm lange, 2 cm breite Holzrippe aufgeleimt, auf welche Schieber *S* (Fig. 110 a. f. S.) aufgesetzt werden können. Dieselben tragen hohle Säulen *T*, in denen die Stiele *U* von Tischen, Lampen u. dergl. mittelst Schrauben *W* befestigt werden können (s. Fig. 110). Die Schieber haben auf der einen Seite einen verticalen, als Index dienenden Strich *J*.

Fig. 109.

1. Das Bunsen'sche Photometer (nach der Construction von Jolly) (Fig. 109) besteht aus einem Rahmen *R*, der zwischen zwei Glasplatten drei Lagen von Oelpapier enthält. Aus dem mittelsten Oelpapierblatt ist ein kreisrundes Loch *L* herausgeschnitten. Dadurch entsteht auf dieser Papierschirmfläche ein Fleck, der hell auf dunklem Grunde erscheint, wenn die Rückseite stärker als die Vorderseite erleuchtet wird, dunkel auf hellem Grunde im umgekehrten Falle, und auf beiden Seiten gleich hell, wenn beide Seiten gleich stark erleuchtet werden. Um zu erkennen, ob letzteres der Fall ist, sind an dem Rahmen zwei geneigte Spiegel S_1 und S_2 befestigt; der vor dem Photometer sitzende Beobachter vergleicht, in diese blickend, die Spiegelbilder beider Photometerseiten mit einander. Statt auf gleiche Helligkeiten auf beiden Seiten einzustellen, kann man auch das Photometer so lange verschieben, bis der Fleck auf der einen und bis er auf der anderen Seite verschwindet und aus beiden Stellungen das Mittel nehmen.

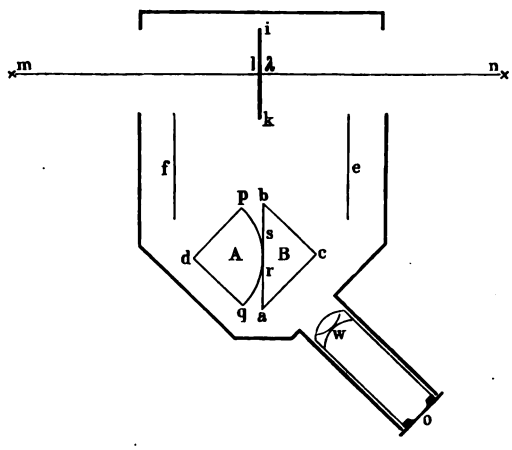
2. Das Diffusionsphotometer (nach Joly) trägt auf einem schwarz lackirten Holzbrettchen *H* (Fig. 110) zwei Paraffinklötzchen von $18 \times 18 \times 38$ mm, die aus einem grösseren, möglichst homogenen Paraffinstück ausgeschnitten sind. Beide sind mit je einer der 18×38 mm grossen Flächen auf einander geschliffen und werden, vertical neben einander stehend, von einem geschwärzten Blech *B* gehalten. Vor ihnen ist ein schwarzer, __/förmig gebogener Schirm *Z* mit einem 20×36 mm grossen Ausschnitt so befestigt, dass dieser von der Fuge zwischen beiden Klötzchen gerade halbirt wird. Der durch den Schirm vor seitlichem Licht geschützte Beobachter blickt auf die Fuge. Durch einen übergelegten Blechbügel *K* werden die Klötze, wenn sie nicht gebraucht werden, vor Staub geschützt; auf einer Seite des Brettchens ist ein Rähmchen *M* zur Aufnahme von quadratischen Absorptionsgläsern angebracht. Diejenige Hälfte des Paraffinstückes, welche stärker beleuchtet ist, erscheint heller; bei gleich starker Beleuchtung beider verschwindet die Trennungsfuge fast vollkommen.

Fig. 110.



3. Das Lummer-Brodhun'sche Photometer beruht ebenfalls darauf, dass zwei an einander grenzende, von zwei Lichtquellen beleuchtete Flächen auf gleiche Helligkeit gebracht werden. Die Fig. 111 giebt einen Querschnitt des Instrumentes. Lothrecht zur Photometerbank *mn* steht der Schirm *ik* aus zwei Papierblättern, zwischen welche Stanniol gelegt ist. Das diffuse, vom Schirm ausgehende Licht fällt auf die Spiegel *e* und *f*, welche es senkrecht auf die Kathetenflächen *bc* und *dp* der beiden Glasprismen *B* und *A* werfen. *B* ist

Fig. 111.



ein gewöhnliches total reflectirendes Prisma mit genau ebener Hypotenusenfläche, während beim Prisma *A* nur die das Prisma *abc* berührende Kreisfläche *rs* eben ist, der übrige Theil *qr* und *sp* dagegen eine Kugelzone bildet. Alles auf diese Berührungsfläche *rs* auffallende Licht geht vollständig hindurch, so dass das bei *o* befindliche Auge des Beobachters Licht von *f* nur durch die Berührungsfläche *rs* hindurch erhalten kann, dagegen von *e* her nur diejenigen Strahlen, welche an *ar* und *sb* total reflectirt werden. Stellt man durch die verschiebbare Lupe *w* scharf auf die Fläche *arsb* ein, so erblickt man im Allgemeinen einen scharf begrenzten hellen oder dunklen Fleck in einem gleichmässig erleuchteten Felde. Bei gleicher Helligkeit der Flächen *l* und *λ* verschwindet dieser Fleck vollkommen.

III. **Uebungen.** 1. Prüfung des Gesetzes der Abnahme der Erleuchtung mit dem Quadrate der Entfernung. 1) Der Träger mit einem Lichte wird so auf die Photometerbank gestellt, dass sein Index mit einem bestimmten Theilstrich *α* der Bank zusammenfällt. 2) Hierauf wird ein zweiter Träger mit vier Lichtern successive auf eine Reihe von Theilstrichen *A* eingestellt und eines der Photometer so zwischen beiden Lichtquellen eingestellt, dass bei dem Fettfleckphotometer der Fleck auf beiden Seiten gleich stark gegen die (hellere) Umgebung absticht, bei dem Joly'schen und Lummer-Brodhun'schen die Trennungslinie verschwindet. 3) Man liest die Stellung des Photometers *a* ab; die Differenzen $a - \alpha$ und $A - a$ sind dann die Entfernungen der Lichtquellen, in denen sie dieselbe Fläche gleich stark erleuchten. — Die Höhe beider Lichtquellen muss, wie in allen folgenden Versuchen, dieselbe wie die Höhe der Photometeraxen sein.

Man findet, dass die Entfernung des Photometers von den vier Lichtern immer sehr nahe gleich dem Doppelten der Entfernung desselben von dem einzelnen Lichte ist.

Beispiel:

Bunsenphotometer.					Diffusionsphotometer.				
α	a	A	$a-\alpha$	$A-a$	α	a	A	$a-\alpha$	$A-a$
30	59,5	120	29,5	60,5	30	60,5	120	30,5	59,5
30	70,5	150	40,5	79,5	30	69,5	150	39,5	80,5
30	79,5	180	49,5	100,5	30	79,5	180	49,5	100,5
30	89,5	210	59,0	120,5	30	89,5	210	59,5	120,5
30	100,5	240	70,5	139,5	30	98,5	240	68,5	141,5

2. Vergleichung zweier Lichtquellen. Man stellt das Normallicht (Kerze), dessen Helligkeit *i* sei, auf einen bestimmten Theilstrich, die zu vergleichende Lichtquelle, z. B. eine Gaslampe mit Rundbrenner, auf einen anderen, etwa um einen Meter davon entfernten Theilstrich. Dann wird das Photometer so lange verschoben, bis die Wirkung beider Lichtquellen auf dasselbe gleich ist. Ist *I* die Helligkeit der Lampe, *L* ihre Entfernung vom Schirm, *l* die Entfernung des Lichtes vom Schirm, so ist:

$$I : i = L^2 : l^2 \text{ und } I = i \frac{L^2}{l^2}.$$

Wird die Helligkeit der Kerze als Lichteinheit gewählt, $i = 1$, so ist:

$$I = \frac{L^2}{l^2} \text{ Kerzen } [1].$$

Beispiel: Bei der Vergleichung einer Gaslampe mit Rundbrenner mit einer Stearinkerze war $L = 80$ cm, $l = 20$ cm gefunden worden; also ist:

$$I : i = (80)^2 : (20)^2 = 16 : 1,$$

oder es ist:

$$I = 16\, i,$$

die Lampenhelligkeit beträgt 16 Kerzen.

3. Bestimmung der Lichtmengen, welche von einem Flachbrenner nach verschiedenen Seiten hin ausgehen. Der Träger mit dem Flachbrenner wird auf einen bestimmten Theilstrich gestellt und der Brenner einmal so gestellt, dass die Flammenfläche parallel der Photometeraxe verläuft (Helligkeit I_I), ein anderes Mal senkrecht zu dieser Stellung auf dem Träger befestigt (Helligkeit I_II). Zur Vergleichung dient wieder das Licht einer Kerze. Aus den Entfernungen, welche das Photometer von den Lichtquellen in beiden Fällen hat, berechnet man wie vorhin die Flammenhelligkeiten. Es ist bei den beiden Versuchen:

$$I_\text{I} = i \frac{L_1^2}{l_1^2}, \quad I_\text{II} = i \frac{L_2^2}{l_2^2}$$

und das Verhältniss:

$$\frac{I_\text{I}}{I_\text{II}} = \frac{L_1^2 l_2^2}{L_2^2 l_1^2}.$$

Beispiel: Bei Stellung I) wurde gefunden:

$$l_1 = 20{,}7 \text{ cm}, \quad L_1 = 79{,}3 \text{ cm};$$

also war:

$$I_\text{I} = i \frac{(79{,}3)^2}{(20{,}7)^2} = 14{,}7.$$

Bei Stellung II) ergab sich:

$$l_2 = 19{,}0, \quad L_2 = 81{,}0,$$

also war:

$$I_\text{II} = i \left(\frac{81{,}0}{19{,}0}\right)^2 = 18{,}2,$$

und

$$\frac{I_\text{I}}{I_\text{II}} = 0{,}81.$$

---

[1]) Genauere Resultate erhält man für das Verhältniss der Helligkeiten zweier Lichtquellen, wenn man sie nach einander mit ein und derselben Lichtquelle vergleicht, welche dann auf derselben Photometerseite stehen bleibt. In der Technik ist besonders das Verhältniss von Gasconsum und Kerzenstärke der Flammen von Interesse. Um dieses zu messen, wird in die Gasleitung eine Gasuhr eingeschaltet. Vielfach ist eine solche unmittelbar am Photometer befestigt; ferner ist die Vergleichsflamme, besonders an Photometern, welche dem genannten specielleren Zwecke dienen, in eine Metallkapsel eingeschlossen, an deren Vorderfläche sich der Papierschirm mit dem Oelfleck befindet.

Der Brenner sendet also in einer zur Flammenfläche senkrechten Richtung mehr Licht aus, als in der Richtung der Flammenebene selbst. Dies rührt daher, dass beim Beleuchten einer Fläche von der hohen Flammenkante her eine grössere Zahl von leuchtenden Theilchen durch davor liegende verdeckt werden, als wenn man mit der Breitseite der Flamme beleuchtet. Die in der Flamme leuchtenden Kohlenpartikelchen sind undurchsichtig. Dagegen ist der subjective Eindruck, den das auf die Flamme blickende Auge erhält, intensiver beim Blicken auf die hohe Kante der Flamme, weil sich dabei die Bilder einer grösseren Anzahl leuchtender Theilchen auf denselben Stellen der Netzhaut über einander lagern.

4. Bestimmung des Absorptionscoëfficienten eines Rauchglases. Geht Licht etwa durch dunkles Glas hindurch, so wird es mehr oder weniger geschwächt. Ist I_1 die Intensität des auffallenden Lichtes und I_2 die Intensität des durchgegangenen Lichtes, so ist I_2 nur ein Bruchtheil des auffallenden Lichtes, es ist:

$$I_2 = \varepsilon_1 I_1,$$

wo ε_1 ein echter Bruch ist. Derselbe giebt das Verhältniss des durchgegangenen Lichtes zum auffallenden an; ε_1 die durch das Glas bewirkte Extinction.

Der Rest der Lichtbewegung ist in dem Glase geblieben, er ist absorbirt worden. Die Absorption A ist gleich $1 - \varepsilon_1$; A giebt an, der wievielte Theil des auffallenden Lichtes in dem absorbirenden Medium zurückbleibt.

1) Man bestimmt das Verhältniss der Helligkeiten der von einer Gaslampe und einer Kerze auf die beiden Seiten des Photometers fallenden Strahlen erst ohne Einschaltung eines Absorptionsglases (Rauchglases) $I_1 = a_1 i$, wenn i die Helligkeit der Kerze ist; 2) nach Einschaltung desselben bei M (Fig. 110) $I_2 = a_2 i$. Dann ist:

$$\varepsilon_1 = I_2 : I_1 = a_2 : a_1.$$

Stellt man hinter das erste Absorptionsglas ein zweites von der Extinction ε_2, so ist die Intensität des auf dieses auffallenden Lichtes I_2, die des durch dasselbe durchgegangenen Lichtes $I_3 = \varepsilon_2 I_2 = \varepsilon_1 \varepsilon_2 I_1$; die Extinction durch zwei Absorptionsgläser ist also gleich dem Producte der Extinctionen der beiden Gläser für sich; die durch beide Gläser herbeigeführte Absorption ist $1 - \varepsilon_1 \varepsilon_2$. Stellt man n Gläser mit gleichem ε hinter einander, so wird das Licht auf $\varepsilon^n I_1$ geschwächt, d. h. $A_n = (1-\varepsilon^n) I_1$ wird von der auffallenden Lichtmenge absorbirt. Extinctionscoëfficient einer Substanz ist das Verhältniss der durch eine Schicht von der Dicke 1 der betreffenden Substanz hindurchgegangenen Lichtmenge zu der auffallenden, also die auf die Schichtdicke 1 bezogene Extinction; Absorptionscoëfficient ist das Verhältniss der in einer Schicht von der Dicke 1 zurückgehaltenen Lichtmenge zu der auffallenden, also die auf die Schichtdicke 1 bezogene Absorption.

Beispiel: Ohne Absorptionsglas war das Verhältniss der Helligkeit einer Gaslampe zu der einer Kerze $(80)^2 : (20)^2 = 16{,}00 : 1{,}00$. Als man in den Gang der Strahlen der Gaslampe ein Absorptionsglas brachte, verhielten sich die Helligkeiten wie $(60)^2 : (40)^2 = 2{,}25$. Im ersten Falle war also: $I_1 = 16{,}00\, i$, im zweiten I_2 nur $= 2{,}25\, i$. Durch das Glas wurde die Helligkeit der Lampe also vermindert im Verhältniss von 16,00 zu 2,25, die durchgegangene Lichtmenge war nur $\frac{2{,}25}{16{,}00} = 0{,}14$ der auffallenden. Es ist also $\varepsilon = 0{,}14$ oder rund $1/7$. Das Glas bewirkt eine Schwächung des Lichtes auf $1/7$ (Extinction), $6/7$ verbleiben im Glase (Absorption).

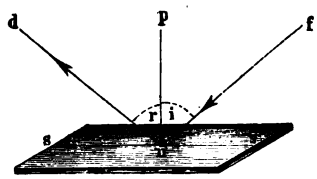
II. Reflexion des Lichtes.

Gebraucht wird: Spiegelmodell; Centimeterstab; optische Bank; Hohlspiegel; matte Glasplatte; Papierschirm; Beleuchtungslampe mit Schwarzblechcylinder und Glasscala.

1. Ebene Spiegel.

I. Einleitung. Trifft ein in einem Medium (1) fortschreitender Lichtstrahl von f kommend (Fig. 112) auf eine ebene Fläche, die einen zweiten Körper (2) begrenzt, so wird ein Theil desselben zurückgeworfen, ein Theil dringt in das zweite Medium ein. Errichtet man in dem Punkte n, welcher von dem einfallenden Lichtstrahl getroffen wird, eine Senkrechte np auf der Trennungsfläche (das Einfallsloth), so liegen der einfallende Strahl fn, das Einfallsloth pn und der reflectirte Strahl nd in einer Ebene, und es ist der Winkel i, den der einfallende Strahl fn mit diesem Lothe bildet (der Einfallswinkel), gleich dem Winkel r, den der reflectirte Strahl nd mit dem Lothe bildet (dem Reflexionswinkel), der Einfallswinkel ist gleich dem Reflexionswinkel.

Fig. 112.



II. Apparat. Zur Verdeutlichung des Strahlenganges bei der Reflexion dient folgendes Modell, Fig. 113 (a. f. S.): In der in das Brett G eingeschnittenen Nuth AB bewegen sich zwei Holzklötzchen, welche die ca. 12 cm hohen Stifte C und D tragen. Senkrecht zu der Nuth steht der von zwei Klötzchen TT getragene Spiegel S. Unter demselben bewegt sich das um C drehbare Lineal E, welches bei H ein mit einer Oeffnung, bei J ein mit einem Fadenkreuz versehenes Blech, Diopter, trägt. H und J liegen mit C in einer Linie.

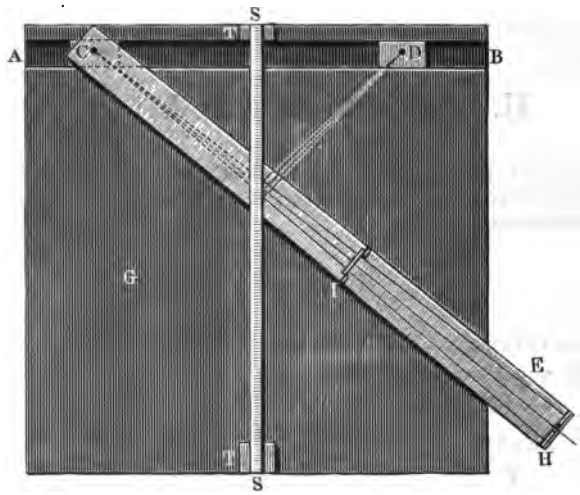
III. **Uebung.** 1) Man misst die Entfernung von D von der Belegung des Spiegels S und stellt C in die gleiche Entfernung.

2) Man dreht das Lineal um C, das Bild von D bleibt auf dem Kreuzungspunkt der Fäden liegen: Die von D ausgehenden, am Spiegel reflec-

tirten und in das Auge gelangenden Strahlen kommen in solchen Richtungen vom Spiegel, als kämen sie von einem Punkte, der ebenso weit hinter dem Spiegel liegt, wie der Gegenstand selbst vor demselben liegt.

Das Auge verlegt also den Gegenstand dorthin, wo sich die in das Auge gelangenden Strahlen zu schneiden scheinen.

Fig. 113.



3) Man blickt durch H und J nach C hin; man sieht das Bild von D: Das Bild des Gegenstandes liegt ebenso weit hinter dem Spiegel, als der Gegenstand selbst sich vor dem Spiegel befindet.

Treffen sich, wie in dem vorliegenden Falle, die Strahlen nicht wirklich, sondern nur scheinbar in dem Bilde, so spricht man von einem virtuellen Bilde.

Die Bilder bei ebenen Spiegeln sind also virtuelle Bilder.

Reelle Bilder sind dagegen solche, bei denen die Lichtstrahlen sich wirklich durchkreuzen (vergl. übrigens auch den Abschnitt: Linsen).

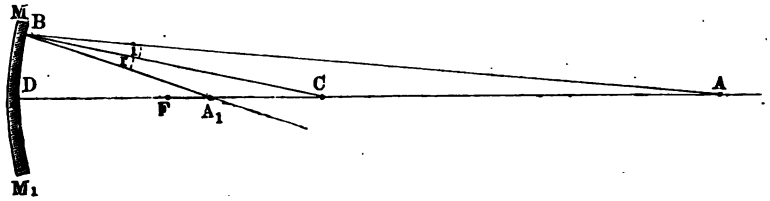
4) Man bringt D in eine andere Entfernung und wiederholt die eben besprochene Uebung nochmals.

2. Hohlspiegel.

I. Einleitung. Hohlspiegel sind spiegelnde, concave Flächen. Bei sphärischen Hohlspiegeln ist die concave Fläche ein Theil einer Kugelfläche. Ist C (Fig. 114) der Mittelpunkt derjenigen Kugel, von deren Oberfläche der Hohlspiegel MM_1 ein Stück ist, ist also $CD = CB = r$

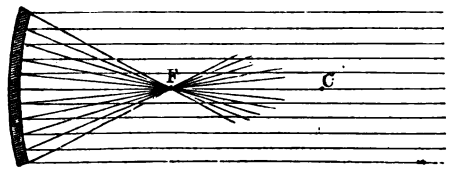
ein Radius, so werden Strahlen, die von einem in A in der Entfernung a vom Spiegel gelegenen Gegenstande auf den Spiegel fallen, z. B. der

Fig. 114.



Strahl AB, so reflectirt, dass Winkel $i = r$ ist. Der senkrecht auf die Spiegelfläche fallende Strahl AD wird in sich selbst zurückgeworfen; die reflectirten Strahlen schneiden sich in A_1 in der Entfernung b vor dem Spiegel; hier entsteht also ein Bild, und zwar ein reelles des Gegenstandes. Liegt umgekehrt der Gegenstand in A_1, so entsteht das Bild in A. Kommen die Strahlen aus sehr grosser, unendlicher Entfernung, also parallel an, wie in Fig. 115, so vereinigen sie sich in dem sogenannten Brennpunkte F. Derselbe liegt halb so weit vom Spiegel, als der Mittelpunkt C von ihm entfernt ist. Seine Entfernung vom Spiegel heisst die Brennweite f, also $f = \frac{1}{2} r$.

Fig. 115.



Zwischen Gegenstandsweite a, Bildweite b und Brennweite f besteht die Beziehung:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

Ist z. B. speciell $a = r$, liegt also der Gegenstand in C, so ist $b = r$, d. h. das Bild entsteht in der gleichen Entfernung vom Spiegel, d. h. im Mittelpunkte.

Bezüglich der Grösse von Bild und Gegenstand gilt der Satz: Die Bildgrösse verhält sich zur Gegenstandsgrösse, wie die Bildweite zur Gegenstandsweite.

II. Apparat. Die Untersuchung der Gesetze des Hohlspiegels wird auf der optischen Bank vorgenommen (vergl. S. 231).

Auf Träger der optischen Bank werden gesetzt:

1. Ein sphärischer Hohlspiegel. 2. Eine Gaslampe mit Eisenblechcylinder, der in der Höhe der Flamme eine etwa 1 cm weite runde Durchbohrung trägt. Die Lampe steckt in einem horizontalen, ca. 8 cm langen Arm und wird in dem Träger so befestigt, dass sie seitlich neben der

Mittellinie der optischen Bank steht. 3. Eine auf Glas getheilte Millimeterscala von 1 cm Länge, welche vor die Cylinderöffnung der Lampe gestellt wird und als Gegenstand dient; dieselbe steht etwas excentrisch auf ihrem Träger. 4. Ein grosser Papierschirm oder eine kleine matte Glastafel.

III. **Uebung.** 1. Prüfung der Gesetze des Hohlspiegels.

1) Man stellt die Lampe und Scala vor dem Hohlspiegel auf, etwas seitlich von der Photometerbank, stellt in einiger Entfernung die matte Glasplatte und den Hohlspiegel hinter dieselbe in einer solchen Entfernung auf, dass auf der matten Glasplatte ein scharfes verkleinertes Bild der Scala entsteht. Dabei gehen die von dieser kommenden Strahlen an der matten Glasplatte zunächst vorbei, fallen auf den Hohlspiegel und werden auf der Glasplatte vereinigt. Hier durchkreuzen sie sich wirklich, es entsteht ein reelles und zwar umgekehrtes Bild.

2) Man liest an den Indices der einzelnen Träger die Stellung von Gegenstand, Spiegel und Bild, G, S, B, ab und misst die Grösse des Bildes M.

3) Man wiederholt diesen Versuch für einige Stellungen des Spiegels, bei denen das verkleinerte Bild zwischen Scala und Spiegel fällt.

4) Man nimmt die matte Glastafel aus ihrem Träger, befestigt sie neben der Glasplatte mit der Scala und verschiebt den Spiegel so lange, bis auf ihr ein scharfes Bild entsteht; sind G' $(=B')$ und S' die entsprechenden Stellungen der Indices, so ist $G' - B' = r$ der Krümmungsradius des Spiegels, $f = \frac{1}{2} r$ die Brennweite.

5) Man schiebt den Spiegel noch näher an den Gegenstand heran: das Bild entsteht jetzt hinter dem Gegenstande und ist vergrössert. Man fängt es auf dem grossen Papierschirm auf, misst seine Grösse M und liest die Indicesstellungen G, S und B wie vorher ab.

6) Man rückt den Spiegel bis auf Brennweitenentfernung an den Gegenstand. Das sich immer mehr vergrössernde und in immer weitere Abstände rückende Bild verschwindet endlich ganz, und der Schirm ist gleichförmig erhellt.

6 a) Man nimmt die Glasplatte mit der Millimeterscala fort, schiebt über die Lampe einen Eisenblechcylinder mit sehr kleiner runder Durchbohrung und rückt den Spiegel so, dass sich die Oeffnung in dem Brennpunkt befindet, dann ist auf dem Schirm ein Kreis erhellt, dessen Durchmesser gleich dem der Oeffnung des Hohlspiegels ist, und der seine Grösse bei Annäherung und Entfernung des Schirmes nicht verändert.

7) Man schiebt den Spiegel noch näher an den leuchtenden Punkt; der Schirm bleibt gleichförmig erhellt, aber der erleuchtete Kreis ist grösser, als die Oeffnung der Brennspiegel und wird um so grösser, je

weiter man den Schirm von demselben entfernt; ein reelles Bild entsteht nicht. Die Strahlen werden so vom Hohlspiegel zurückgeworfen, als kämen sie von einem hinter dem Spiegel gelegenen Punkte. Blickt man in den Spiegel, so sieht man hinter ihm in der That ein Bild des Gegenstandes; dasselbe ist also virtuell und steht aufrecht.

8) Man bestimmt den Krümmungsradius mit dem Sphärometer in derselben Weise, wie es S. 20 für die Linse angegeben ist; hier muss die Indexcorrection mit dem umgekehrten Vorzeichen in Rechnung gesetzt werden.

Berechnung. Man rechnet für die einzelnen Stellungen der Indices aus:

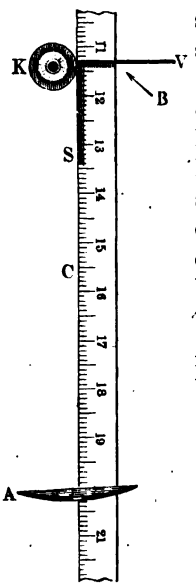
1. $a = G - S$ (bezw. $S - G$), 2. $b = B - S$ (bezw. $S - B$) und überzeugt sich, dass $1/a + 1/b$ nahezu constant $= c$ ist. Die Brennweite f ist dann $1/c$, der Krümmungsradius $r = 2f$.

3. Das Verhältniss von $b:a$. Dann ist das Verhältniss der Bildgrösse M zur Gegenstandsgrösse immer sehr nahe gleich $b:a$.

Uebung. 2. Bestimmung der Brennweite eines Augenspiegels.

Zur Beleuchtung bei der Untersuchung des Augenhintergrundes bedient man sich kleiner Hohlspiegel von etwa 3 cm Durchmesser, welche in der Mitte durchbohrt sind. Die von einer Lampe, welche seitlich neben dem Kopfe des zu Untersuchenden steht, kommenden Strahlen werden mittelst des Hohlspiegels in das Auge geworfen, während gleichzeitig der Untersuchende, durch die Spiegelöffnung schauend, durch die brechenden Medien des untersuchten Auges hindurch auf die erleuchtete Netzhaut, eventuell durch Linsen unterstützt, accomodirt. Einen solchen Hohlspiegel nennt man einen Augenspiegel. Die Brennweite desselben muss je nach den speciellen Verhältnissen eine verschiedene sein. Dieselbe wird in folgender Weise bestimmt.

Fig. 116.



Uebung. 1) Eine Visitenkarte V (Fig. 116) wird rechtwinkelig umgebogen und vertical mittelst etwas Wachs so neben dem Licht einer Kerze K befestigt, dass die Ebene der einen Hälfte gerade durch die Mitte des Lichtes geht, die andere dagegen zwischen der ersten Hälfte und dem Lichte als beschattende Zwischenwand S zu stehen kommt.

2) Man hält den Augenspiegel A so vor die Karte, dass auf derselben bei B ein deutliches umgekehrtes Bild des Lichtes von derselben Grösse wie der Gegenstand selbst entsteht. Man misst die Entfernung C des Spiegels von der Papierfläche mit einem Centimeterstab.

Dann ist nach S. 239 der Spiegel gerade um den Krümmungsradius von dem Lichte entfernt, die Brennweite ist also:

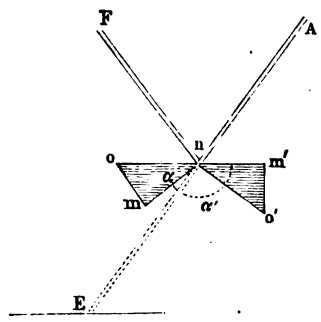
$$f = \frac{1}{2} C.$$

3. Wollaston's Reflexionsgoniometer.

Gebraucht wird: Reflexionsgoniometer; ein Stück einer schwarzen Glasplatte; Klebwachs; ein Stück Kalkspath.

I. Princip. Um den Winkel α zu messen, den zwei ebene, spiegelnde Flächen, z. B. bei einem Krystall, mit einander bilden, lässt man einen Lichtstrahl in derselben Richtung einmal von der einen, dann nach Drehung des Krystalles von der anderen Fläche reflectiren; der Winkel α', um den man dabei den Krystall drehen muss, ergänzt den zu messenden α zu 180^0. Denn blickt das Auge in Fig. 117 in der Richtung AE dicht an dem Krystall onm vorbei nach der festen Marke E, so erhält es gleichzeitig Strahlen, die aus der Richtung Fn auf die Krystallfläche on gefallen und von dieser nach nA hin reflectirt werden und solche, die von E kommen. Um den Winkel $\alpha = onm$ zu messen, dreht man den Krystall um eine zu der Ebene EFA (Zeichnungsebene) senkrechte Axe so lange, bis er in eine solche Lage $o'nm'$ gekommen ist, dass die von F kommenden Strahlen von der Fläche nm' nach nA hin reflectirt werden, wobei sie dem Auge aus derselben Richtung wie die von E in dasselbe gelangenden zu kommen scheinen. Dabei hat man um den Winkel $\alpha' = mnm'$ gedreht; es ist aber:

Fig. 117.



$$\alpha = 180^0 - \measuredangle\, \alpha'.$$

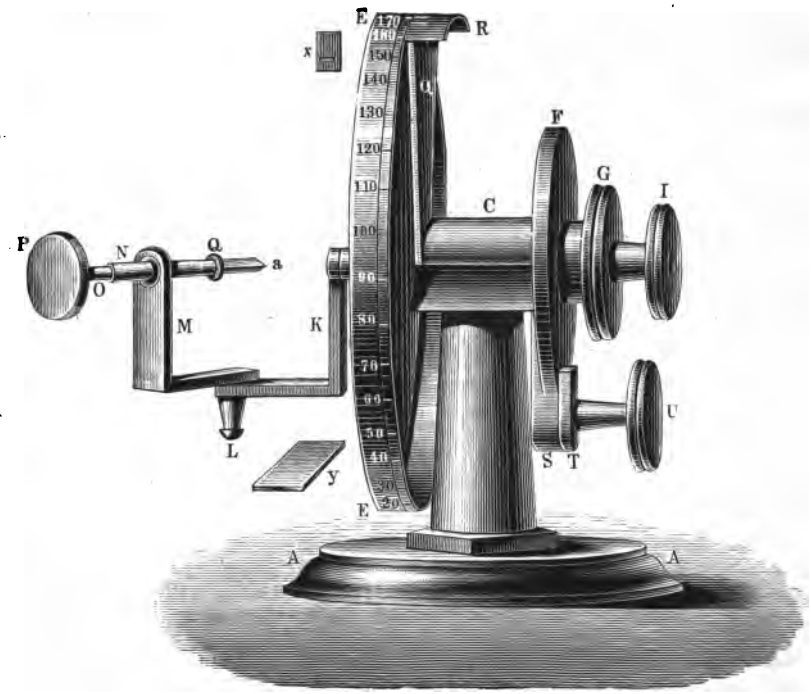
Liegt die Ebene EFA vertical, also die Drehungsaxe des Prismas und die ihr parallele Kante n horizontal, so scheint der Punkt F dem in A befindlichen Auge sich bei der Drehung des Krystalls in verticaler Richtung zu bewegen.

II. Apparat. Fig. 118. Mittelst des Griffkopfes G lässt sich die in halbe Grade getheilte Scheibe E um eine von dem Stative AAC getragene horizontale Axe drehen[1]) und ihre Stellung an dem mit dem Stative fest verbundenen Nonius bis auf Minuten ablesen. Sie lässt sich durch die Kreisplatte F und die Druckschraube STU festklemmen. An

[1]) Die bei manchen Reflexionsgoniometern, wie bei dem hier abgebildeten, zu Repetitionsmessungen getroffene Einrichtung FST benutzen wir hier nicht.

der durch G hindurchgehenden, mit dem Griffknopfe I verbundenen Axe ist der Bügel KLM befestigt, der die in der Hülse N drehbare Axe OQ trägt. Bei Q wird der Krystall a mit etwas Klebwachs befestigt.

Fig. 118.



Dem Apparate gegenüber wird die Verticalrichtung und eine bestimmte Höhe bezeichnet. Am einfachsten geschieht dies durch den verticalen Stab und eine Querspross eines Fensterkreuzes. Statt des Fensters kann man an der gegenüberliegenden Zimmerwand eine Marke x anbringen, von deren Mitte man ein Loth herabhängen lässt.

III. **Uebung.** 1) Man stellt das Goniometer so auf, dass die durch die Marke oder die Mitte des Fensterkreuzes gehende und zu diesem senkrecht stehende Verticalebene zu der Scheibe EE parallel ist.

2) In derselben Ebene befestigt man mit etwas Klebwachs auf dem Tische unmittelbar vor dem Apparate ein kleines Stück von schwarzem Glase y.

3) Man stellt nun die Scheibe F fest, dreht den Arm M um den Punkt L, bis die Axe OQ in die Verlängerung der Axe C fällt (bis beim Drehen an I der Kopf P nicht schleudert), und richtet den Krystall a so, dass die Kante, in der die beiden Flächen, deren Winkel man bestimmen will, zusammenstossen, der Drehungsaxe angenähert parallel ist.

4) Man bringt das Auge dem Krystall ziemlich nahe, sucht unter Drehen an G das von einer Krystallfläche reflectirte Bild einer bestimmten Fenstersprosse resp. der Marke x, und neigt die Glasplatte y so, dass man in ihr das Spiegelbild derselben Sprosse resp. der Marke neben dem auf der Krystallfläche gesehenen erblickt, wobei man auf die Entfernung der verticalen Fenstersprosse resp. des Lothes von dem Rande der Krystallfläche in dem Bilde achtet.

5) Man dreht den Krystall, bis man das von der anderen Krystallfläche reflectirte Bild derselben Fenstersprosse oder der Marke neben dem Spiegelbilde in y sieht. Dabei soll dann die verticale Sprosse oder das Loth an derselben Stelle wie vorhin liegen. Ist dies nicht der Fall, so liegt die Kante der Axe noch nicht parallel. Man führt diese Stellung durch Neigen des Krystalles und einiges Hin- und Herdrehen herbei.

6) Man bringt die Bilder in der einen Krystallfläche und in dem Spiegel y genau in gegenseitige Verlängerung und liest die Stellung der Scheibe am Nonius ab; A_1.

7) Man wiederholt die Einstellung für die andere Krystallfläche, wobei man darauf achtet, ob man durch die Nulllage der Theilung hindurchgehen muss, und liest die zweite Stellung A_2 ab.

IV. Berechnung. Die Grösse der Drehung ist $\alpha' = A_1 - A_2$, wobei zu berücksichtigen ist, in welchem Sinne gedreht worden ist. Der gesuchte Winkel ist dann $\alpha = 180 - \alpha'$.

Beispiel: Spaltungsstück von isländischem Doppelspath (Fig. 119): $A_1 = 126^0\,29'$; gedreht wurde im Sinne der abnehmenden Bezifferung.

Fig. 119.

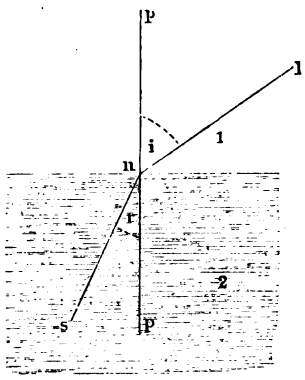
$A_2 = 51^0\,45'$, also $\alpha' = 74^0\,44'$ und $\alpha = 105^0\,16'$. Für den Winkel β an der Kante, welche die der ersten Fläche gegenüberliegende Fläche mit der dazwischen liegenden bildet, wurde bei gleichsinniger Drehung gefunden: $A_3 = 126^0\,27'$, einmal durch 180^0 hindurchgegangen, also $\beta' = 51^0\,45' + (180 - 126^0\,27') = 105^0\,18'$ und $\beta = 74^0\,42'$. Summe beider Winkel gleich $179^0\,58'$, statt $180^0\,0'$.

III. Bestimmung des Brechungsindex.

Fällt ein Lichtstrahl auf die Trennungsfläche zweier Medien 1 und 2, so erfährt der in das zweite Medium eindringende Strahl eine Ablenkung; der Strahl wird gebrochen, falls er nicht gerade senkrecht auf die Fläche auftrifft (Krystalle ausser den dem regulären System angehörigen schliessen wir von der Betrachtung aus).

Bei diesem Vorgange gilt das Gesetz von Snell oder Descartes: Einfallender Strahl, Einfallsloth und gebrochener Strahl liegen in einer Ebene und das Verhältniss des Sinus des Einfallswinkels (i) zu dem Sinus des Brechungswinkels (r) ist constant und unabhängig von der Grösse des Einfallswinkels (Fig. 120). Dieses Verhältniss n heisst Brechungs-Verhältniss oder -Index oder -Exponent; wir wollen den zweiten, kürzesten Ausdruck benutzen.

Fig. 120.



Der Brechungsindex hat neben dieser geometrischen folgende physikalische Bedeutung: er stellt das Verhältniss der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten v_1 und v_2 des Lichtes in beiden Medien dar. Es ist also

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Ist das erste Medium das Vacuum und setzt man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in demselben gleich eins, ist also $v_1 = 1$, so ist der reciproke Werth des Brechungsindex $1/n$ die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in dem zweiten Medium. Wird der gebrochene Strahl zu dem Einfallsloth hin gebrochen, wie es die Figur zeigt, so heisst das zweite Medium das optisch dichtere, das erste das optisch dünnere. In dem optisch dichteren Medium ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit kleiner als in dem optisch dünneren.

Meist nimmt man als erstes Medium Luft und bezieht den Brechungsindex auf diese. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft

sehr nahe gleich der im Vacuum ist (bei Luft von 760 mm Druck und 0^0 ist ihr Verhältniss nahezu 1,000290), so genügt es für die meisten Zwecke, den auf Luft bezogenen Index zu betrachten. Der Brechungsindex ändert sich mit der Wellenlänge des untersuchten Lichtes.

Der Brechungsindex spielt eine wichtige Rolle bei der Betrachtung der optischen Eigenschaften der Körper. Denn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Wellenbewegung in einem Medium hängt von der Structur desselben ab und kann uns umgekehrt Aufschluss über diese geben.

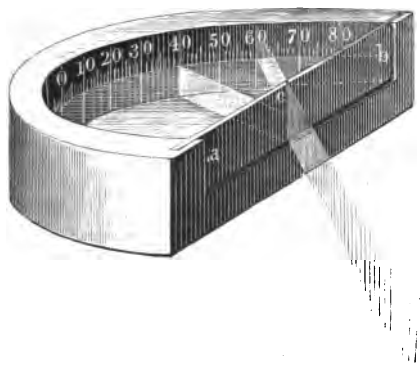
1. Vorübung.

I. Bestimmung des Brechungsindex mit einem halbkreisförmigen Flüssigkeitstrog.

Gebraucht wird: Halbkreisförmiges Gefäss mit Theilung; Flaschen mit Wasser und Terpentinöl; Argandbrenner; Holzstab.

Apparat. Zu dem Grundversuche dient der Apparat Fig. 121. Ein 3 bis 4 cm hohes Gefäss ist auf der einen Seite durch eine ebene Glasfläche ab, auf der anderen Seite durch eine halbkreisförmige, verticale Wand begrenzt. Die ebene Glasfläche ist bis auf einen schmalen, verticalen Spalt in ihrer Mitte bei c undurchsichtig. Auf dem Halbkreise ist eine Gradtheilung angebracht. Dieselbe geht von dem Orte aus, wo das auf ab in c errichtete Loth, d. h. das Einfallsloth, die Kreisfläche schneidet. Der Trog wird zur Hälfte mit Flüssigkeit gefüllt. Der Gradstrich, auf welchen der oberhalb des Wassers durch den Spalt gehende Strahl trifft, giebt den Einfallswinkel, derjenige, auf welchen der durch das Wasser gehende gelangt, den Brechungswinkel. Die Richtung des Einfallslothes bezeichnet man durch einen auf den Trog in der Richtung $0c$ gelegten Stab.

Fig. 121.



Uebung. Man füllt den Trog erst mit Wasser, stellt eine Gaslampe in einiger Entfernung von dem Spalt c auf und neigt den Trog durch Drehen um eine verticale Linie, die man sich durch den Spalt c gehend denkt, unter verschiedenen Winkeln gegen den einfallenden Strahl.

Man liest die zusammengehörigen Einfallswinkel i, i_1, i_2 und Brechungswinkel r, r_1, r_2 ab und sucht deren Sinus in der Tafel der trigonometrischen Functionen auf; dann ist

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \cdots .$$

Derselbe Versuch wird, nach sorgfältigem Austrocknen des Troges, mit Terpentinöl[1]) angestellt.

Beispiel: Für Wasser wurde gefunden:

i	= 20	35	50	64
r	= 15	25	35	42
$n = \frac{\sin i}{\sin r}$	= 1,32	1,36	1,33	1,34

Aus den Versuchen an Wasser und Terpentinöl, für welch letzteres n = 1,50 ca. gefunden wird, folgt, dass die optisch dichteren Medien nicht auch im gewöhnlichen Sinne dichter sein müssen, denn Terpentinöl hat einen grösseren Brechungsindex als Wasser, ist aber specifisch leichter als dieses.

Bemerkung: Würden wir umgekehrt die Brechungsindices N beim Uebergange aus Flüssigkeit in Luft finden wollen, so hätten wir

$$N = \frac{\sin r}{\sin i} = \frac{\sin r_1}{\sin i_1} = \cdots$$

d. h. es ist

$$N = \frac{1}{n};$$

der Brechungsindex beim Uebergange aus einem Medium 2 in ein Medium 1, ist der reciproke Werth desjenigen für den Uebergang aus dem Medium 1 in das Medium 2.

Kennen wir die Brechungsindices $n_{1\,2}$ für den Uebergang aus einem Medium 1 in ein Medium 2, und $n_{1\,3}$ für denjenigen aus einem Medium 1 in ein Medium 3, so können wir den Brechungsindex für den Uebergang aus dem Medium 2 in das Medium 3 berechnen.

Es ist, wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten in den drei Medien v_1, v_2, v_3 sind:

$$n_{1\,2} = \frac{v_1}{v_2} \qquad n_{1\,3} = \frac{v_1}{v_3} \qquad n_{2\,3} = \frac{v_2}{v_3},$$

also ist

$$n_{2\,3} = \frac{n_{1\,3}}{n_{1\,2}},$$

oder wenn $n_{2\,3}$ und $n_{1\,2}$ gegeben ist, so ist:

$$n_{1\,3} = n_{1\,2} \cdot n_{2\,3}.$$

II. Bestimmung der Brechungsindices mittelst eines Spectrometermodells.

Gebraucht wird: Spectrometermodell; Glasprisma von 60°, Hohlprisma mit Schwefelkohlenstoff; Argandbrenner, Bunsenbrenner; Flasche mit Chlor-

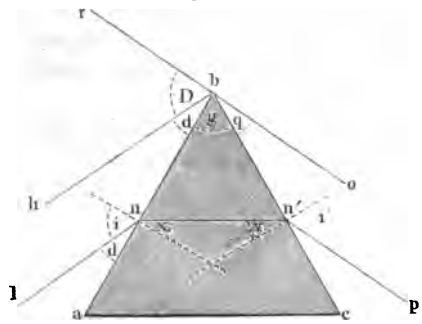
[1]) Sollte das Terpentinöl bei ungenügendem Trocknen des Troges durch suspendirte Wassertröpfchen trübe werden, so filtrirt man es durch Filtrirpapier.

lithium, Chlornatrium, Chlorstrontium; drei Platinbleche an Platindrähten, Stativ dazu. (Um stets die Platinbleche etc. zusammen zu haben, sind in ein Holzbrett drei Reihen Löcher gebohrt für die die Salze enthaltenden Pulvergläser, dahinter drei kleinere Löcher für die Reagirgläser, in welche die Platinbleche mit den sie tragenden Glasröhren gesteckt werden, zwei Löcher, in welche der Bunsenbrenner und das Stativ für die Platinbleche passen.)

I. Princip. Prismen sind von zwei ebenen, sich in einer geraden Linie schneidenden Flächen begrenzte Körper.

Fällt ein Lichtstrahl in der Richtung ln, Fig. 122, auf die Vorderfläche eines Prismas, so tritt er in einer Richtung $n'p$ aus demselben aus. Er hat also durch das Prisma eine Ablenkung erfahren um den Winkel D, der gebildet wird durch die ln und $n'p$ parallelen Linien hb und ro. Diese Ablenkung setzt sich zusammen aus derjenigen beim Eintritt in das Prisma und derjenigen beim Austritt aus demselben. Die erste hängt ab von dem Einfallswinkel i und dem Brechungsindex, welche zusammen den Winkel x bestimmen; die zweite von dem Winkel y und dem Brechungsindex, y selbst ist aber abhängig von x und der Neigung der zweiten Fläche des Prismas gegen die erste, d. h. dem brechenden Winkel g, so dass also D abhängt von i, n und g.

Fig. 122.



Ein Minimum der Ablenkung (s. w. u.) tritt ein, sobald der Austrittswinkel i' gleich dem Einfallswinkel i ist; dann wird das Prisma symmetrisch von dem Strahl durchsetzt, wie das auch die obige Figur zeigt und i ist durch n und g selbst bestimmt, fällt also aus der Gleichung für die Ablenkung heraus.

In diesem Falle ist

$$n = \frac{\sin \frac{g + D}{2}}{\sin \frac{g}{2}}.$$

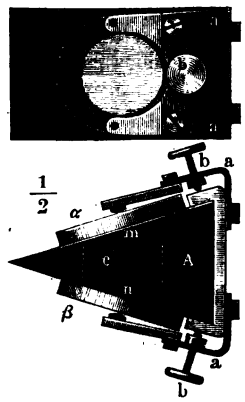
Zur Bestimmung des Brechungsindex n muss man also 1) den brechenden Winkel g und 2) die kleinste auftretende Ablenkung D bestimmen [1]).

[1]) Stellt man nicht auf das Minimum ein, so muss man auch den Einfallswinkel an der ersten Fläche des Prismas messen und findet dann folgende Gleichungen, wenn i der Einfallswinkel an der ersten Prismafläche, r der Austrittswinkel an der zweiten ist und I und R die zu i und r zugehörigen Winkel im Prisma sind (Ed. Ketteler, Beobachtungen über die Farbenzerstreuung der Gase. Bonn, A. Henry, 1865):

II. Apparat. Wir benutzen zu den Versuchen ein einfaches dreiseitiges Prisma aus Glas; die der brechenden Kante gegenüberliegende Fläche desselben ist geschwärzt, um störende Lichtreflexe abzuschwächen [1]).

Um ein Prisma aus einer Flüssigkeit herzustellen, bringt man dieselbe in sogenannte Hohlprismen. Ein Glasprisma A, Fig. 123, ist mit einer Durchbohrung mn versehen, bei c ist eine von oben zu mn führende Oeffnung, in die man eventuell ein Thermometer einsetzen kann. Die Oeffnungen von mn werden mit planparallelen Glasplatten [2]) α und β verschlossen, die für sich die Lichtstrahlen nicht ablenken, sondern nur sich selbst parallel verschieben. Dieselben werden durch die Federn aa festgehalten. Der so entstehende Hohlraum wird dann mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt. Untersucht man mehrere Flüssigkeiten nach einander, so wird er stets dazwischen durch Ausspülen mit Wasser, Alkohol und Aether, oder mit den letzteren beiden allein, gereinigt und durch Durchsaugen von Luft getrocknet.

Fig. 123.



Das ganze Hohlprisma wird in einem kleinen dreieckigen Blechuntersatz, mit etwa 5 mm hohen Rändern, auf das Tischchen des Spectrometers gesetzt, damit etwa zwischen die Glasplatten durchsickernde Flüssigkeit nicht auf das Spectrometer gelangt. Die Glasflächen α und β des Hohlprismas werden sorgfältig abgewischt, da sonst das Bild verwaschen erscheint.

Um die Richtung der einfallenden und gebrochenen Strahlen zu bestimmen, werden die Prismen auf ein Spectrometer gestellt; wir lassen die Uebungen zunächst nur mit einem Modell eines solchen anstellen.

---

1) $$n = -\frac{\sin\frac{1}{2}(i+r)}{\sin\frac{1}{2}D} \cdot \frac{\cos\frac{1}{2}(i-r)}{\cos\frac{1}{2}(I-R)},$$ wo 2) $g + D = i + r$,

3) $$\tan\frac{1}{2}(I-R) = \frac{\tan\frac{1}{2}(i-r)}{\tan\frac{1}{2}(i+r)} \tan\frac{1}{2}D.$$

Man bestimmt zunächst g, D und i durch Messung, daraus ergiebt sich aus 2) r, also auch $i - r$ und $i + r$, dann folgt aus 3) $I - R$ und endlich aus 1) n. Sobald $i = r$, wird $I = R$, und n nimmt den oben angegebenen Werth an, das Prisma steht dann im Minimum der Ablenkung.

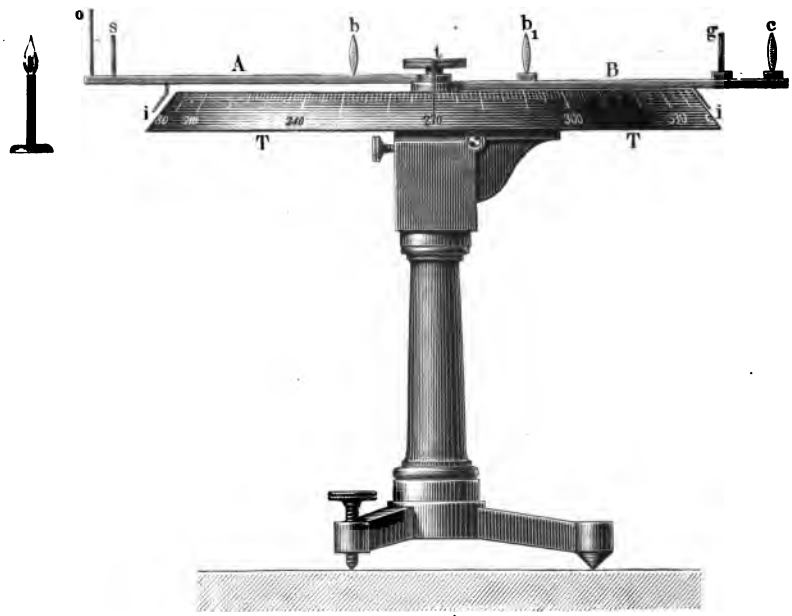
[1]) Die zu den Versuchen dienenden Glasapparate dürfen nur mit staubfreien leinenen Tüchern abgewischt werden, indess ist es stets besser, wenn dies der Praktikant dem Assistenten überlässt. Alles Berühren der spiegelnden und brechenden Flächen mit den Fingern ist auf das Sorgfältigste zu vermeiden.

[2]) Es sind dies Platten, die von ebenen und genau parallelen Flächen begrenzt sind.

Das Spectrometermodell ist dem von Weinhold angegebenen nachgebildet.

Eine grosse runde Holzplatte *T*, Fig. 124 (57 cm Durchmesser, 3,0 cm Dicke), ist an ihrem abgeschrägten Rande mit einer Kreistheilung versehen (die einzelnen Gradstriche stehen um ca. 0,5 cm von einander ab, so dass man noch $^1/_{10}{}^0$ oder 6′ sehr gut schätzen kann). In der Mitte von *T* ist ein kleiner, runder Tisch *t* von 12 cm Durchmesser angebracht, auf den eventuell noch ein durch drei Stellschrauben einzustellendes Tischchen gestellt werden kann. Um die Axe des Tisches lassen sich die 53 cm langen Holzschienen *A* und *B* drehen; beide haben Zeiger *i*, die sich auf der Theilung bewegen. In *A* und *B* sind Nuthen eingeschnitten, in denen sich Holzschieber verschieben lassen, auf welchen die

Fig. 124.



verschiedenen gleich zu erwähnenden Apparattheile befestigt sind. Die Holzschiene *A* entspricht dem sogenannten Collimator; sie trägt einen Spalt *s* mit verstellbaren Schneiden und eine Biconvexlinse *b* mit einer Brennweite von ca. 34 cm. Die Schiene *B* entspricht dem Beobachtungsfernrohre; sie trägt eine Biconvexlinse b_1 von derselben Brennweite wie das Objectiv *b*, eine Fassung *g*, in die eine mit einem liegenden Kreuz versehene matte Glasplatte oder eine Glasplatte, auf welche ein × mit Tusche gezeichnet ist, eingeschoben werden kann, und endlich eine als Lupe dienende biconvexe Linse *c* von 5 cm Brennweite, das Ocular. Die beiden Striche der Glasplatten vertreten das Fadenkreuz der feineren

Messinstrumente; wir werden das Strichkreuz geradezu als Fadenkreuz bezeichnen.

Der Tisch *t* ist mit einem Arm mit einem auf der Theilung spielenden Index verbunden. An dem Ende des Collimatorfernrohres ist noch mittelst eines Schiebers ein Schirm *o* mit Oeffnung zur Abhaltung des fremden Lichtes eingeschoben.

III. **Uebung 1.** Einstellung des Apparates. 1) Man nimmt zunächst die Collimatorlinse *b* heraus und bestimmt deren Brennweite *f*, indem man den Abstand ermittelt (s. unten), in dem sie von einem sehr entfernten Gegenstande ein Bild entwirft.

2) Man schiebt die Linse ein und stellt den Spalt in die Entfernung *f* von der Collimatorlinse auf.

3) Man stellt eine Lampe vor das Collimatorfernrohr, dreht das Beobachtungsfernrohr, bis es gerade gegenüber dem Collimatorfernrohr steht und schiebt die durchsichtige Glasplatte mit dem Fadenkreuz so lange hin und her, bis das Bild des Spaltes und das Fadenkreuz gleichzeitig möglichst scharf erscheinen oder besser bis beim Verschieben des Auges nach rechts und links vor dem Ocular das Fadenkreuz sich nicht gegen das Bild des Spaltes verschiebt; dann fallen beide genau in die-

Fig. 125.

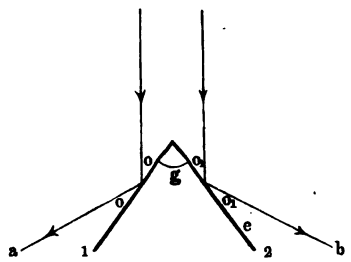
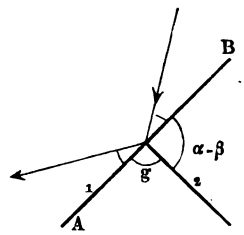


Fig. 126.



selbe Ebene. Das Ocular wird dabei stets so verschoben, dass man durch dasselbe das Bild scharf sieht. Auf der matten Glasplatte sieht man die Erscheinung objectiv, man sieht das Bild des Spaltes selbst, hier kann man nur auf möglichste Schärfe einstellen.

Uebung 2. Bestimmung des Prismenwinkels. Man erleuchtet den Spalt durch eine Gaslampe.

a) Erste Methode. 1) Man stellt das Prisma so auf, dass es seine Kante den einfallenden Strahlen zukehrt (Fig. 125).

2) Man dreht das Beobachtungsfernrohr und bestimmt am Theilkreis die beiden Stellungen desselben, bei denen die Bilder, welche von den vom Spalte ausgegangenen Strahlen in dem Beobachtungsfernrohre nach ihrer Reflection an den Flächen 1 und 2 erzeugt werden, mit dem Fadenkreuz zusammenfallen; sie seien *a* und *b*.

Der brechende Winkel ist dann $g = \frac{a - b}{2}$.

Zu achten ist darauf, dass, wenn a etwa auf der anderen Seite des Nullstriches liegt als b, man bilden muss $\frac{a + 360^0 - b}{2}$; ist z. B. $a = 20^0$, $b = 280^0$, so ist $g = \frac{380 - 280}{2} = 50^0$.

b) Zweite Methode. 1) Man stellt die beiden Fernrohre gegen einander fest, so dass sie einen beliebigen kleinen Winkel mit einander bilden; 2) man setzt den drehbaren Tisch so auf, dass sein Zeiger sich über den Theil des Kreises hin bewegt, der nicht zwischen den beiden Fernrohren liegt; 3) man setzt das Prisma auf den drehbaren Tisch t (Fig. 126, a. v. S.); 4) man bringt durch Drehen des Tisches das Spiegelbild des Spaltes an der Fläche 1 zur Deckung mit dem Fadenkreuz und liest die Stellung des Tisches ab: Lage A, Ablesung α; 5) man dreht den Tisch, bis das Spiegelbild an 2 zur Deckung mit dem Fadenkreuz kommt: Lage B, Ablesung β, dann ist der Prismenwinkel also der brechende Winkel

$$g = 180 - (\alpha - \beta)$$

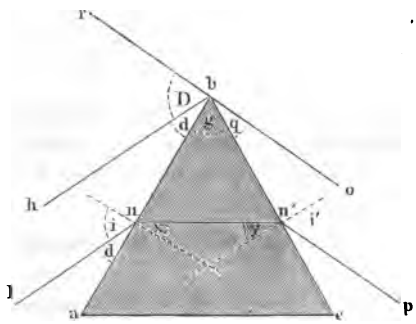
(zu achten ist auf den Durchgang durch 0^0).

Dies ist die Methode, die bei den gewöhnlichen Goniometern der Mineralogen benutzt wird (vergl. oben S. 242).

Uebung 3. Bestimmung der Ablenkung für beliebige Strahlen. Man beleuchtet zunächst den Spalt durch weisses Licht.

1) Man stellt ohne Prisma das Fadenkreuz des Beobachtungsfernrohres auf den Spalt ein, d. h. man bringt das Bild des Spaltes mit dem Fadenkreuz zur Deckung und erhält so die Richtung der einfallenden Strahlen ln resp. hb (Fig. 127). Lage des Fernrohres am Theilkreis: x.

Fig. 127.



2) Man setzt das Prisma auf und sucht zunächst mit dem Auge das Bild des Spectrums, dann dreht man das Fernrohr an die Stelle des Auges, so dass man das Spectrum im Fernrohre sieht, und stellt das Fadenkreuz auf das Gelb.

3) Man dreht nun das Prisma, und zwar so, dass das Gelb nach der Lage des nicht abgelenkten Strahles hinrückt, d. h. nach der Seite hin, nach welcher die brechende Kante gelegen ist, und rückt mit dem Fernrohre nach. Die Bewegung des Spectrums geht in demselben Sinne eine Zeit lang vor sich, dann scheint dasselbe eine kurze Zeit still zu stehen, darauf geht die Bewegung in die entgegengesetzte über. Bei derjenigen Stellung des Prismas, bei der der Stillstand eintritt, sind die

Fig. 128.

gebrochenen Strahlen am nächsten an den ohne Brechung fortschreitenden gelegen, sie haben die kleinstmögliche Ablenkung erfahren, das Prisma steht im Minimum der Ablenkung.

4) Man lässt das Prisma so stehen und liest die Lage des auf Gelb eingestellten Fernrohres ab, man erhält so die Richtung der abgelenkten Strahlen $n'p$ resp. ro. Lage des Fernrohres am Theilkreis: y.

Dann ist die Ablenkung:

$$D = y - x,$$

denn um $y - x$ ist der einfallende Strahl durch das Prisma aus seiner ursprünglichen Lage abgelenkt, und der Brechungsindex für das Gelb ist:

$$n = \frac{\sin \frac{D+g}{2}}{\sin \frac{g}{2}}.$$

Bemerkung. Daraus, dass beim Durchgange des weissen Lichtes durch ein Prisma ein Farbenband entsteht, dessen verschiedene Theile eine verschiedene Ablenkung erfahren haben, folgt, dass die verschiedenen Farben verschiedene Brechungsindices besitzen, eine Erscheinung, die man mit dem Namen der Dispersion bezeichnet.

Zur Feststellung der einzelnen Theile des Spectrums benutzt man die mit den grossen und kleinen Buchstaben des Alphabets bezeichneten Fraunhofer'schen Linien (vergl. Fig. 128) des Sonnenspectrums oder die hellen, von leuchtenden Gasen und Dämpfen gelieferten Linien. Besonders benutzt werden:

Die Wasserstofflinien $H_\alpha = C$, $\lambda = 656{,}27$; $H_\beta = F$, $\lambda = 486{,}13$; H_γ $\lambda = 434{,}01$; $H_\delta = h$, $\lambda = 410{,}12$.

Die Natriumlinie D, $\lambda = 589{,}21$.

Die Lithiumlinie $\lambda = 670{,}8$, die grüne Thalliumlinie $\lambda = 534{,}96$.

Die blaue Strontiumlinie $\lambda = 460{,}75$.

Im Ultraviolett Cadmium-, Zink- und Aluminiumlinien. Wellenlängen nach Mascart, $H\gamma$ und $H\delta$ nach Angström.

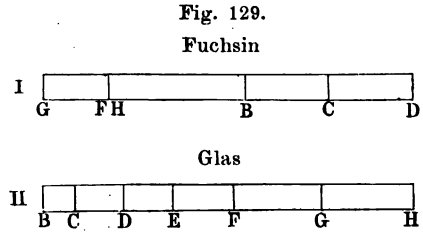
Als Maass der Dispersion benutzt man den Unterschied der Brechungsindices zweier bestimmter Linien, z. B. von D und F des Sonnenspectrums.

Man muss die Indices also für die Strahlen von verschiedener, aber bestimmter Wellenlänge ermitteln; die blosse Angabe, dass der Brechungsindex für das Roth oder Blau bestimmt sei, genügt nicht, da eine jede Farbe eine grosse Anzahl von Strahlen umfasst.

Uebung 4. Bestimmung der Brechungsindices für Strahlen von bestimmter Wellenlänge. Die Messungen werden mit der Natrium-, Lithium- und Strontiumflamme angestellt; man stellt dazu vor den Spalt des Spectrometers eine durch die Dämpfe der betreffenden Metalle gefärbte Bunsenflamme, indem man die Chloride derselben in einem Platinsieb in die Flamme führt (vergl. S. 287).

Während das Licht der Natrium- und Lithiumflamme sehr lange anhält, verschwindet das der Strontiumflamme sehr schnell, man darf daher zunächst das Platinsieb mit dem Chlorstrontium nur in den Saum der Flamme bringen und dann allmälig tiefer hineinschieben (den weissen Ansatz auf dem Platin entfernt man nachher mit etwas Salzsäure).

Fig. 129.



Die Messungen werden sonst in ganz derselben Weise durchgeführt, wie bei der eben beschriebenen Messung des Brechungsindex für das Gelb.

Die Messungen sind auszuführen für ein Crownglasprisma von 60^0 und ein Schwefelkohlenstoffprisma von 60^0. Dabei ergiebt sich ein sehr viel grösserer Brechungsindex des Schwefelkohlenstoffs, eine sehr viel grössere Gesammtdispersion desselben und ein stärkeres Anwachsen der Dispersion vom Roth nach dem Blau gegenüber derselben Erscheinung beim Crownglas.

Beispiel: Glasprisma von 60^0.

1) Bestimmung des brechenden Winkels nach Methode 1: $a = 234{,}9^0 = 234^0\,54'$, $b = 115^0$, $g = \frac{a - b}{2} = \frac{119^0\,54'}{2} = 59^0\,57'$ oder rund 60^0.

2) Bestimmung des brechenden Winkels nach Methode 2: $\alpha = 176^0$, $\beta = 56^0$, $g = 180 - (\alpha - \beta) = 60^0$.

3) Bestimmung der Ablenkung für Roth (r), Gelb (g), Violett (v): $x = 168{,}5^0 = 168^0\,30'$, $y_r = 129^0$, $y_g = 128{,}5^0 = 128^0\,30'$, $y_v = 127{,}2^0 = 127^0\,12'$, also $D_r = 39{,}5^0 = 39^0\,30'$, $D_g = 40^0$, $D_v = 41{,}3^0 = 41^0\,18'$ und $n_r = 1{,}526$, $n_g = 1{,}532$, $n_v = 1{,}547$.

Der Brechungsindex wächst also vom Roth zum Blau, d. h. mit abnehmender Wellenlänge. Dies ist die Regel.

Stark absorbirende Körper zeigen oft ein anderes Verhalten; bei einigen nimmt der Brechungsindex vom Roth zum Violett regelmässig ab, bei anderen vom Roth zum Grün zu und dann nach dem Violett ab; solche Körper heissen anomal dispergirende.

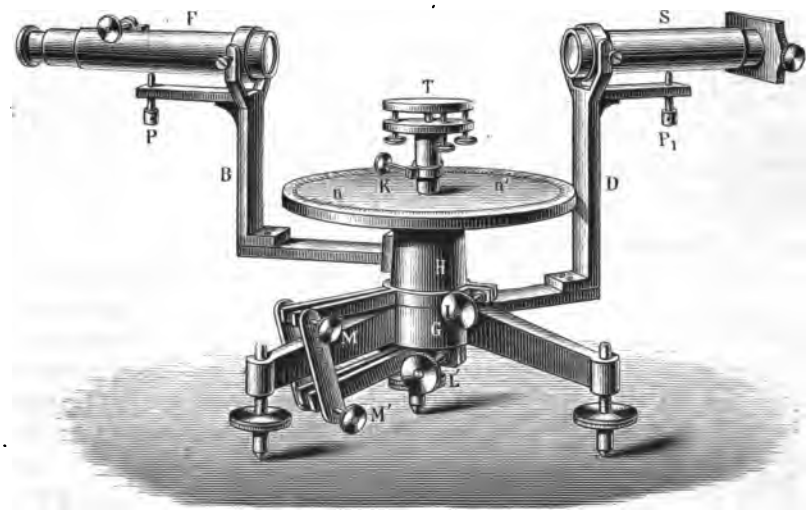
Die Vertheilung der Fraunhofer'schen Linien in einem Spectrum, das 1) von einem Prisma aus anomal dispergirender Fuchsinlösung und 2) von einem normal dispergirenden Glasprisma entworfen ist, veranschaulicht die Fig. 129.

2. Bestimmung des Brechungsindex mit dem Spectrometer.

Gebraucht wird: Spectrometer; Gauss'sches Ocular; Gaslampe; Glasprisma; Natriumflamme; kleines Inductorium mit zwei Tauchelementen; Geissler'sche Röhre mit Wasserstoff gefüllt; Verbindungsdrähte; Hohlprisma; Benzol; Pyknometer; Waage und Gewichte; Spritzflasche mit destillirtem Wasser; Methyl-, Aethyl-, Amylalkohol; eine concentrirte Chlornatriumlösung; Acetaldehyd; Essigsäure.

Der Brechungsindex hängt, wie wir sahen, ab von der Wellenlänge, ferner ist er abhängig von der Dichte, also auch von der Temperatur,

Fig. 130.



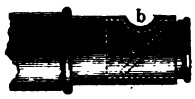
mit der sich die Dichte ändert, bei Gemischen von der Natur und Menge der in ihnen enthaltenen Componenten, bei Verbindungen von ihrer Zusammensetzung und der Art der Bindung der Atome unter einander.

Zur Untersuchung dieser Beziehungen müssen wir die Messungen an einem genauen Spectrometer anstellen.

1. Beschreibung und Einstellung des Spectrometers (Fig. 130).

I. Apparat. Das Spectrometer unterscheidet sich von dem Modell durch genauere Ausführung. Spalt und Collimatorlinse, Beobachtungsobjectiv, Fadenkreuz und Ocular sind je zu einem Fernrohr, dem Collimator S und dem Beobachtungsfernrohr F verbunden. Das Ocular lässt sich gegen das Fadenkreuz, Fadenkreuz und Ocular zusammen mittelst eines Triebes gegen das Objectiv verstellen. Quer über die Mitte des Spaltes wird ein ganz dünner Platindraht befestigt, die Verbindungslinie zwischen ihm und dem Mittelpunkte der Collimatorlinse ist die Axe des Collimators. Das Fadenkreuz des Beobachtungsfernrohres wird so gestellt, dass seine Fäden um 45^0 gegen die Horizontale geneigt sind. Die Verbindungslinie zwischen dem Schnittpunkte des Fadenkreuzes und dem Mittelpunkte des Fernrohrobjectivs ist die Axe des Beobachtungsfernrohres. Statt des gewöhnlichen Oculars kann man auch ein sogenanntes Gauss'sches (Fig. 131) einsetzen. Dasselbe ist an der Seite mit einer Oeffnung b versehen, vor dieselbe ist im Inneren des Rohres eine unter 45^0 gegen die Axe des Fernrohres geneigte Glasplatte gestellt. Setzt man vor b eine Lichtquelle, so wird von der Platte Licht nach dem Fadenkreuz reflectirt und dieses beleuchtet. Hat man kein Gauss'sches Ocular, so kann man das Fadenkreuz auch dadurch beleuchten, dass man vor die Ocularlinse eine Glasplatte unter 45^0 befestigt und von der Seite beleuchtet, doch stören hier die vom Ocular reflectirten Strahlen die Beobachtungen.

Fig. 131.



Um genaue Messungsresultate zu erhalten, müssen Fadenkreuz und Spalt sich im Brennpunkte der zugehörigen Linsen befinden, die Axen der Fernrohre genau senkrecht zur Drehungsaxe stehen, und die brechende Kante des Prismas parallel der Drehungsaxe sein.

II. **Uebung.** Einstellung des Spectrometers.

A. Einstellung des Beobachtungsfernrohres auf Unendlich.

a) Erste Methode. 1) Man stellt das Ocular scharf auf das Fadenkreuz ein. 2) Man richtet das Fernrohr auf einen entfernten Gegenstand, z. B. einen Blitzableiter und verstellt das Ocular mit dem Fadenkreuz so lange, bis bei einer seitlichen Verschiebung des Auges das Fadenkreuz und das scharfe Bild des Gegenstandes unverändert ihre Lage gegen einander behalten.

b) Zweite Methode. Man stellt auf das Tischchen T eine planparallele Glasplatte, setzt das Gauss'sche Ocular ein, beleuchtet das Fadenkreuz und dreht die Glasplatte so lange, bis das Bild, welches die an dem Fadenkreuz und dem Rande der dasselbe tragenden Blende vorbeigegangenen und an der Glasplatte reflectirten Strahlen von der Blende erzeugen, im Gesichtsfelde erscheint. Dann neigt man die Platte durch Drehen an den Schrauben des Tischchens T, bis das durch die an der Glasplatte reflectirten Strahlen erzeugte Bild des Fadenkreuzes mit diesem selbst zusammenfällt und verstellt das Ocular mit dem Faden-

kreuz so lange, bis bei Augenbewegungen Fadenkreuz und Bild des Fadenkreuzes unverändert ihre Lage beibehalten.

B. Senkrechtstellung der Fernrohraxe zur Drehungsaxe.

a) Man stellt auf das Tischchen eine planparallele Glasplatte, beleuchtet das Fadenkreuz und sucht das reflectirte Bild des Fadenkreuzes auf. Fällt Bild und Fadenkreuz zusammen, so steht die Axe des Fernrohrs senkrecht zur Ebene der Glasplatte. Ist dies nicht der Fall, so corrigirt man die Abweichung halb durch Neigen der Glasplatte mittelst der Schrauben an dem Tischchen T, halb durch Neigen des Fernrohrs durch Drehen an der Schraube P.

Dann dreht man die Glasplatte um 180°. Ist die Glasplatte parallel zu der Drehungsaxe, so wird wiederum Bild und Fadenkreuz zusammenfallen, ist das nicht der Fall, so corrigirt man wieder halb an der Platte, halb an dem Fadenkreuz. Dann dreht man die Platte um 180° und überzeugt sich von der Coincidenz von Bild und Fadenkreuz, resp. corrigirt etwaige Abweichungen. So fährt man fort, bis vollständige Coincidenz hergestellt ist.

b) Ist die Glasplatte parallel zur Drehungsaxe, steht die Fernrohraxe senkrecht auf der Glasplatte und fällt die Drehungsaxe des Fernrohrs mit der des Tischchens zusammen, wie es bei guten Instrumenten sein muss, so steht nach Ausführung der obigen Einstellungen auch die Fernrohraxe senkrecht zu der Drehungsaxe desselben. Man überzeugt sich davon dadurch, dass man das Fernrohr um 180° dreht und untersucht, ob wiederum Coincidenz des Fadenkreuzes und seines Bildes vorhanden ist. Ist sie nicht vollkommen vorhanden, so lässt man das Tischchen stehen, dreht das Fernrohr um 180° hin und her und neigt Glasplatte und Fernrohr so lange, bis Coincidenz eintritt. Es ist zweckmässig, zunächst die Glasplatte wenigstens angenähert nach a) richtig zu stellen.

C. Einstellung des Collimators auf Unendlich und Senkrechtstellung desselben auf die Drehungsaxe.

Man stellt das Beobachtungsfernrohr gerade dem Collimator gegenüber auf. Zieht das den Spalt tragende Rohr so lange aus, bis das Bild des Spaltes bei Bewegungen des Auges sich nicht mehr gegen das Fadenkreuz verschiebt, dann ist der Spalt in der Brennweite der Collimatorlinse.

Man neigt das Collimatorfernrohr mittelst der Schraube P_1 so lange, bis fast genau das Bild des durch den übergespannten Draht bezeichneten Mittelpunktes M des Spaltes mit dem Schnittpunkte des Fadenkreuzes zusammenfällt.

D. Aufstellung des Prismas, so dass die brechende Kante parallel der Drehungsaxe ist; dieselbe wird in verschiedener Weise vorgenommen, je nachdem man den brechenden Winkel oder die Ablenkung messen will.

I. Zur Bestimmung des brechenden Winkels.

a) Wendet man Methode b) S. 252 an, so dreht man an den das Tischchen tragenden Schrauben so lange, bis das Bild der Mitte des Spaltes M, sowohl bei der einen wie bei der anderen Stellung des Prismas mit dem Schnittpunkte des Fadenkreuzes zusammenfällt.

b) Wendet man Methode a) S. 251 an, so dreht man an den das Tischchen tragenden Schrauben so lange, bis das Bild von M sowohl bei der einen wie bei der anderen Stellung des Fernrohres mit dem Fadenkreuz zusammenfällt.

II. Zur Bestimmung der Ablenkung.

a) Ist das Tischchen drehbar und fällt seine Drehungsaxe mit derjenigen des Fernrohres zusammen, so dreht man dasselbe mit dem nach I. a) richtig gestellten Prisma so lange, bis dasselbe im Minimum der Ablenkung steht. Man überzeugt sich, dass der zu einer das ganze Spectrum durchziehenden horizontalen Linie ausgezogene Mittelpunkt des Spaltes M durch den Schnittpunkt des Fadenkreuzes geht.

b) Will oder kann man das Tischchen nicht um grosse Winkel drehen oder fällt seine Drehungsaxe nicht mit derjenigen des Fernrohres zusammen, so stellt man das Prisma in das Minimum der Ablenkung, stellt zunächst das Fernrohr auf das von der dem Spalt zugewandten Fläche reflectirte Bild ein und neigt diese Fläche durch Drehen an den Schrauben am Tischchen, bis das Bild von M und Fadenkreuz zusammenfallen, stellt dann auf das Spectrum ein und dreht an den Schrauben, bis die dunkle Horizontallinie durch das Fadenkreuz geht, dann stellt man wieder auf das reflectirte Bild ein und fährt so fort, bis in beiden Stellungen Coincidenz stattfindet.

Hierauf neigt man das Collimatorfernrohr ein klein wenig, damit nicht die schwarze Linie die Stellen des Spectrums verdeckt, auf welche das Fadenkreuz eingestellt wird.

Die Messung der Brechungsindices gestaltet sich genau, wie oben angegeben ist[1]).

II. Brechungsindex und Wellenlänge.

Um die Abhängigkeit der Brechungsindices von der Wellenlänge auszudrücken, ist eine grosse Anzahl von Formeln aufgestellt worden, von denen wir hier nur die einfachste, die von Cauchy für schwach dispergirende, durchsichtige Körper aufführen:

Der Brechungsindex für Strahlen von der Wellenlänge λ ist

$$n_\lambda = A + \frac{B}{\lambda^2}.$$

[1]) Wenn man für verschiedene Theile des Spectrums die Brechungsindices finden will, muss man für jede Linie von Neuem auf das Minimum der Ablenkung einstellen, sonst muss man nach den S. 249 mitgetheilten Formeln rechnen; bei nicht sehr genauen Messungen genügt es indess, diese Lage für einen Strahl im mittleren Theile des Spectrums aufzusuchen, dann ist sie nahezu auch für die anderen Strahlen vorhanden.

Dabei sind A und B Constante, und zwar ist A der der unendlich grossen (∞) Wellenlänge entsprechende Brechungsindex, wie er sich aus der Formel berechnet; denn ist $\lambda = \infty$, so ist $\frac{B}{\lambda^2} = 0$, also

$$n_\infty = A.$$

Sind die Brechungsindices n_1 und n_2 für zwei Wellenlängen λ_1 und λ_2 gefunden, so kann man A und B berechnen. Es ist

$$n_1 = A + \frac{B}{\lambda_1^2} \qquad n_2 = A + \frac{B}{\lambda_2^2}$$

$$A = \frac{(n_1 \lambda_1^2 - n_2 \lambda_2^2)}{(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)}.$$

Den so gefundenen Werth von A setzen wir in die Gleichung für n_1 ein und erhalten B aus

$$B = (n_1 - A)\, \lambda_1^2.$$

Uebung. Die Messungen werden angestellt an einem Glasprisma für das gelbe Natriumlicht, die rothe und blaue Linie im Wasserstoffspectrum (über die Herstellung des Wasserstoffspectrums s. w. u. S. 297). Man erhält dann:

$$n_{H\alpha} = 1{,}5268 \qquad n_{Na} = 1{,}5296 \qquad n_{H\beta} = 1{,}5361.$$

Für H_α ist $\lambda = 656{,}3$, also $\lambda_1^2 = 4{,}307 \cdot 10^5$

H_β ist $\lambda = 486{,}1$, also $\lambda_2^2 = 2{,}363 \cdot 10^5$

und $\lambda_1^2 - \lambda_2^2 = 1{,}944 \cdot 10^5$.

Berechnet man aus den Beobachtungen für $n_{H\alpha}$ und $n_{H\beta}$ bei unserem Glase nach der obigen Formel die Constanten A und B, so ergiebt sich:

$$A = 1{,}5157 \qquad B = 4781,$$

daraus ergiebt sich für $n_{Na}(\lambda = 598{,}2) = 1{,}5291$, was mit dem beobachteten Werthe nahe übereinstimmt.

III. Brechungsindex und Dichte.

Ist n der für irgend einen Strahl bestimmte Brechungsindex einer Substanz, A die in der eben angegebenen Weise berechnete erste Constante der Cauchy'schen Formel, d die Dichte der Substanz, so ist, wenn sich der Brechungsindex und die Dichte etwa in Folge von Druck- oder Temperaturänderungen gleichzeitig ändern, nach Gladstone das specifische Brechungsvermögen:

$$\frac{n-1}{d} = Const_1 \text{ oder } \frac{A-1}{d} = Const_2.$$

An Stelle der Relation von Gladstone haben Lorenz und Lorentz die folgenden gesetzt:

$$\frac{n^2-1}{n^2+2} \cdot \frac{1}{d} = Const \text{ oder } \frac{A^2-1}{A^2+2} \cdot \frac{1}{d} = Const.$$

Nach Ketteler soll statt der 2 im Nenner eine Grösse x stehen, die bei verschiedenen Körpern verschiedene Werthe annimmt, meist aber 3,5 beträgt.

Uebung. 1) Das Hohlprisma wird mit Benzol gefüllt, 2) der Brechungsexponent n für die Natriumlinie, 3) die Dichte d mittelst des Pyknometers bestimmt.

Die Ausdrücke $\frac{n-1}{d}$ und $\frac{n^2-1}{n^2+2} \cdot \frac{1}{d}$ werden berechnet.

IV. Brechungsindex von Gemischen.

Sind die Brechungsindices der ungemischten Körper $n_1, n_2, n_3 \ldots$, ihre Dichten $d_1, d_2, d_3 \ldots$, die in einem Gewichte P der Mischung enthaltenen Gewichte derselben $p_1, p_2, p_3 \ldots$, ist N der Brechungsindex der Mischung, D ihre Dichte, so ist

$$\frac{N-1}{D} P = \frac{n_1-1}{d_1} p_1 + \frac{n_2-1}{d_2} p_2 + \frac{n_3-1}{d_3} p_3 + \cdots$$

Eine ganz analoge Gleichung erhält man, wenn man statt $\frac{n-1}{d}$ die Ausdrücke $\frac{n^2-1}{n^2+2} \cdot \frac{1}{d}$ zu Grunde legt.

Für eine Lösung von p_1 Theilen Salz in 100 Theilen Flüssigkeit oder ein Gemisch von p_1 Theilen einer Substanz und $(100 - p_1)$ Theilen einer anderen ist nach der ersten Formel:

$$\frac{N-1}{D} \cdot 100 = \frac{n_1-1}{d_1} p_1 + \frac{n_2-1}{d_2} (100 - p_1),$$

oder

$$\frac{N^2-1}{(N^2+2)D} 100 = \frac{n_1^2-1}{(n_1^2+2)d_1} p_1 + \frac{n_2^2-1}{(n_2^2+2)d_2} (100 - p_1).$$

Kennt man N, n_1, n_2, D, d_1, d_2, resp. $\frac{N-1}{D}, \frac{n_1-1}{d_1}, \frac{n_2-1}{d_2}$ etc., so kann man p_1 berechnen, man kann also auf diese Weise eine optische Analyse ausführen.

Kennt man umgekehrt für eine Lösung eines Salzes N, D, n_2, p_1, d_2, so kann man $\frac{n_1-1}{d_1}$ für das Salz berechnen, und wenn auch d_1 bekannt ist, n_1 finden.

Uebung. Es werden folgende Körper untersucht: 1) Wasser, 2) eine concentrirte Chlornatriumlösung, 3) Benzol, 4) Methylalkohol, 5) Amylalkohol, 6) eine Mischung aus Methylalkohol und Benzol, 7) eine Mischung aus Methyl- und Amylalkohol.

Für jeden wird bestimmt:

a) Der Brechungsindex für die D-Linie nach S. 252;

b) Die Dichte mit dem Pyknometer nach S. 58.

Daraus berechnet man die specifischen Brechungsvermögen der einzelnen Flüssigkeiten; ferner berechnet man für die Mischungen 6) und 7) nach der oben gegebenen Formel das specifische Brechungsvermögen und vergleicht den berechneten Werth mit dem beobachteten.

Beispiel: Mischungen von Aethyl- und Amylalkohol. $p_1 = 92$ g C_2H_6O; $p_2 = 88$ g $C_5H_{12}O$. $n_1 = 1{,}3615$; $d_1 = 0{,}7875$; $n_2 = 1{,}4071$, $d_2 = 0{,}8089$ (bei 20^0 C.). $N = 1{,}3843$, $D = 0{,}7997$. $\frac{N-1}{D}$ berechnet $= 0{,}4807$, beobachtet $= 0{,}4805$. $\frac{N^2-1}{N^2+2} \cdot \frac{1}{D}$ berechnet $= 0{,}2926$, beobachtet $= 0{,}2926$.

V. Brechungsindex und chemische Constitution. Molecularrefraction.

Für Verbindungen kann man ganz analoge Betrachtungen anstellen und Ausdrücke ableiten, wie für Mischungen.

Eine dem in Grammen ausgedrückten Moleculargewicht entsprechende Menge eines aus a Atomen des Elementes A, dessen Atomgewicht A sei, b Atomen des Elementes B etc. zusammengesetzten Körpers $M = A_a B_b C_c \ldots P_p$ denkt man sich als eine Mischung von aA g von A, bB g von B etc.; ist dann n der Brechungsindex des untersuchten Körpers, d seine Dichte, sind α, β, ... die specifischen Brechungsvermögen der Körper A, B, C... in dem Zustande, in dem sie in die Verbindung eintreten, so ist:

$$R = M\frac{n-1}{d} = aA\alpha + bB\beta + \cdots pP\pi$$

das moleculare Refractionsvermögen, oder die moleculare Refraction, oder das Refractionsäquivalent.

Bezeichnet man analog $r_a = A\alpha$, $r_b = B\beta$, ... als Atomrefraction, so ist die Molecularrefraction der Verbindung $A_a B_b C_c D_d \ldots P_p$:

$$R = M\frac{n-1}{d} = ar_a + br_b + \cdots + pr_p.$$

Ganz analoge Ausdrücke würden sich bei Zugrundelegung von $\frac{n^2-1}{n_2+2} \cdot \frac{1}{d}$ statt $\frac{n-1}{d}$ ergeben.

Die Molecularrefraction ist also gleich der Summe der Atomrefractionen, sie ist eine sogenannte additive Eigenschaft.

Uebung. Untersucht werden: 1) Wasser, 2) Benzol, 3) Methylalkohol, 4) Aethylalkohol, 5) Amylalkohol, 6) Acetaldehyd, 7) Essigsäure. Für die Kohlenstoffverbindungen und das Wasser werden die Brechungsindices und die Dichten bestimmt; mit Hülfe derselben die molecularen Brechungsvermögen R nach beiden Formeln berechnet und mit ihrer Hülfe die Atomrefractionen der einzelnen in ihnen enthaltenen Elemente, wie es im Beispiel angegeben ist.

Beispiel:

	CH_4O	C_2H_6O	$C_5H_{12}O$	C_2H_4O	$C_2H_4O_2$	H_2O
d (20° C.) =	0,8029	0,7875	0,8089	0,7799	1,0485	0,9984
n_D =	1,3371	1,3615	1,4071	1,3316	1,3737	1,3330
M =	32	46	88	44	60	18
$R = M\frac{n-1}{d}$ =	13,44	21,12	44,29	18,71	21,39	6,00
$R = M\frac{n^2-1}{(n^2+2)d}$ =	8,29	12,94	26,79	11,53	13,06	3,71

Daraus folgt für eine Gruppe CH_2 die nach beiden Formeln constante Differenz von 7,70 bezw. 4,63. Für die Atomrefraction des mit zwei Valenzen an C gebundenen Sauerstoffes O″ folgt aus R für C_2H_4O'' (= $[(CH_2)_2O'']$) r = 3,31 bezw. 2,27. Für den in $C_2H_4O'O'' = ([(CH_2)_2 + O''] + O')$ mit einer Valenz gebundenen Sauerstoff O′ ist r = 2,68 bezw. 1,53. Hiernach erhält man unter Benutzung der Werthe für H_2O für die Atomrefraction des Wasserstoffs 1,66 bezw. 1,09, und für die Atomrefraction der mit einer Valenz gebundenen Kohlenstoffatome 4,38 bezw. 2,45.

Allgemeines. Die eben abgeleiteten Beziehungen zwischen Molecularrefraction und Atomrefraction haben sich innerhalb sehr weiter Grenzen bestätigt; die Atome der einzelnen Elemente treten meist mit nahezu derselben Atomrefraction in die Verbindungen ein, falls sie nicht, wie die Constitutionsformel andeutet, in verschiedener Weise gebunden sind. Ermittelt man durch Addition der Atomrefractionen der Elemente die Molecularrefraction einer Verbindung, wie sie sich aus Beobachtungen an Verbindungen ohne Doppelbindung ergeben, und weicht diese von der beobachteten ab, so bezeichnet man den hierbei auftretenden Ueberschuss, denn einen solchen findet man, als Refractionsincrement. Solche treten auf, wenn an Stelle der einfachen Bindungen doppelte oder mehrfache treten.

Nach Conrady ergeben sich folgende Werthe für die Atomrefraction bei der D-Linie und nach Landolt für die C-Linie unter Zugrundelegung der Formel von Lorenz.

	Genaues Atomgew.	Atomrefr. für D	Genähertes Atomgew.	Atomrefr. für D	Nach Landolt für C
C'	11,97	2,494	12	2,501	2,48
H	1	1,051	1	1,051	1,04
C^0	11,97	2,586	12	2,592	2,48
O'	15,96	1,517	16	1,521	1,58
O^2	15,96	1,679	16	1,683	
O''	15,96	2,281	16	2,287	2,34
$/=$	...	1,707	...	1,707	1,78 1,85 (Brühl)
Cl	35,37	5,976	35,5	5,998	6,02
Br	79,76	8,900	80	8,927	8,95
J	126,54	14,12	126,5	14,12	13,99

C' bezieht sich auf Kohlenstoff, der in einer Kette steht, während C^0 sich auf einzeln stehenden bezieht, O' ist Hydroxylsauerstoff, O^2 Aethersauerstoff, der also an zwei Kohlenstoffatome gekettet ist, O'' endlich Aldehydsauerstoff, /= bezieht sich auf das Refractionsincrement bei einer Doppelbindung.

Der Unterschied in den Werthen von dem alleinstehenden C^0 und in fortlaufenden Ketten stehenden C'-Kohlenstoff ist sehr klein, so dass man praktisch damit nichts über die Constitution entscheiden kann; der Unterschied zwischen dem Aether- und Hydroxylsauerstoff ist dagegen sehr deutlich.

Die obigen Beziehungen ergeben sich aus den allgemeinen Lichttheorien, falls wir annehmen, dass ein Atom in seinem optischen Verhalten beim Eintritt in die Verbindung keine oder doch stets eine gleiche Veränderung erfährt, also seine Aetherhülle beim Eintritt in die chemische Verbindung unverändert beibehält, oder dass doch diese stets in gleicher Weise verändert wird. Vorausgesetzt ist also nicht nothwendig, dass die Atome mit der ihnen im unverbundenen Zustande zukommenden Atomrefraction eintreten. — Die Formel muss ihre Gültigkeit verlieren, wenn die obigen Annahmen nicht erfüllt sind. Hierin ist wohl auch der Grund zu suchen, dass für dasselbe Element die Werthe von r andere werden, wenn es Doppelbindungen etc. eingeht (s. w. o.), dass also die Atomrefraction je nach der Art der Bindung eine verschiedene ist.

IV. Totalreflexion.

Gebraucht wird: Totalreflectometer von F. Kohlrausch; Schwefelkohlenstoff; Brenner mit Platinlöffel und Chlornatrium; Glasplatte; Glasplatte mit eingeschliffener Höhlung und Deckgläschen; Topaskrystall.

Abbe's Refractometer mit Tabelle; Cassiaöl; Flussspathkrystall.

Einleitung. Ist n der Brechungsexponent beim Uebergange aus Luft in Glas, i' der Einfallswinkel in der Luft, r' der Brechungswinkel im Glas, so ist:

$$\frac{\sin i'}{\sin r'} = n,$$

wo $n > 1$ ist. Geht der Strahl aus Glas in Luft, ist i der Einfallswinkel im Glas, r der Brechungswinkel in der Luft, so ist (vergl. S. 247):

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n} = \nu \text{ und } \sin r = n \sin i,$$

wo $\nu < 1$ ist. $\sin r$ kann aber nie grösser als 1, r nie grösser als 90^0 werden, also kann der Lichtstrahl nur so lange aus Glas in Luft eintreten, als $n \sin i < 1$ ist, dann tritt ein Theil des Lichtes in die Luft aus, ein Theil wird „partiell" reflectirt. Sobald $n \sin i > 1$ ist, wird alles Licht reflectirt; wir haben „totale" Reflexion. Der Winkel J, bei dem diese eben beginnt, heisst Grenzwinkel der totalen Reflexion, für ihn ist:

$$\sin J = \frac{1}{n} = \nu.$$

Lässt man Strahlen unter immer grösseren Einfallswinkeln auf die Grenze von Glas und Luft fallen, so erkennt man den Eintritt der totalen Reflexion an der plötzlichen Zunahme der Helligkeit des reflectirten Lichtes.

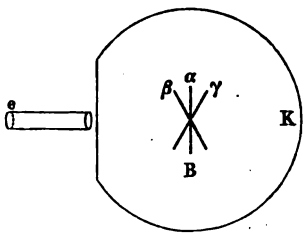
Eine solche totale Reflexion findet nur statt, wenn das Licht aus einem optisch dichteren Medium in ein optisch dünneres Medium eintritt.

Die totale Reflexion findet zur Bestimmung der Brechungsindices bei verschiedenen Apparaten Verwendung.

1. Totalreflectometer von F. Kohlrausch.

I. Princip der Methode. In dem mit stark brechender Flüssigkeit (CS_2) gefüllten cylindrischen Gefässe K, das vorn durch eine ebene Platte verschlossen ist, ist die zu untersuchende Platte B um eine verticale Axe drehbar. Das Gefäss ist mit durchscheinendem Papier umgeben, das, von hinten beleuchtet, gleichsam zum Selbstleuchter wird. Vor der Platte ist ein Fernrohr e mit Fadenkreuz aufgestellt. Beim Drehen der Platte aus der Lage α in β werden auf dem Fadenkreuz des auf Unendlich eingestellten Fernrohrs e Strahlen vereint, die unter immer grösseren Einfallswinkeln auf die Platte B fallen. Ist der Brechungsindex der Platte kleiner als der der Flüssigkeit, so ist bei einem bestimmten Winkel für die auf der linken Seite des Fadenkreuzes vereinten Strahlen totale Reflexion eingetreten, während dies für die auf der rechten Seite noch nicht der Fall ist. Eine Grenze zwischen helleren und dunkleren Theilen, die durch den Schnittpunkt des Fadenkreuzes geht, durchzieht das Gesichtsfeld von oben nach unten.

Fig. 132.



Diejenigen von der beleuchteten Papierwand kommenden Strahlen, die gerade auf dem Fadenkreuz nach der Reflexion vereint werden, haben eine totale Reflexion erfahren. Ihr Einfallswinkel ist nach dem Satz von Gleichheit des Reflexions- und Einfallswinkels gleich dem Winkel, den die Normale auf der reflectirenden Fläche mit der Fernrohraxe bildet. Dreht man nun die Platte aus der Lage β durch α nach γ, bis wieder dieselbe Erscheinung eintritt, so entspricht diese Drehung dem doppelten Grenzwinkel der totalen Reflexion J zwischen Flüssigkeit und festem Körper.

Wir erhalten aus ihm zunächst den Brechungsindex ν für den Uebergang aus Schwefelkohlenstoff in Glas; um den Brechungsindex n aus Luft in Glas zu erhalten, muss ν multiplicirt werden mit dem Brechungsindex aus Luft in Schwefelkohlenstoff N (s. S. 247), es ist also:

$$n = N\nu = N \sin J.$$

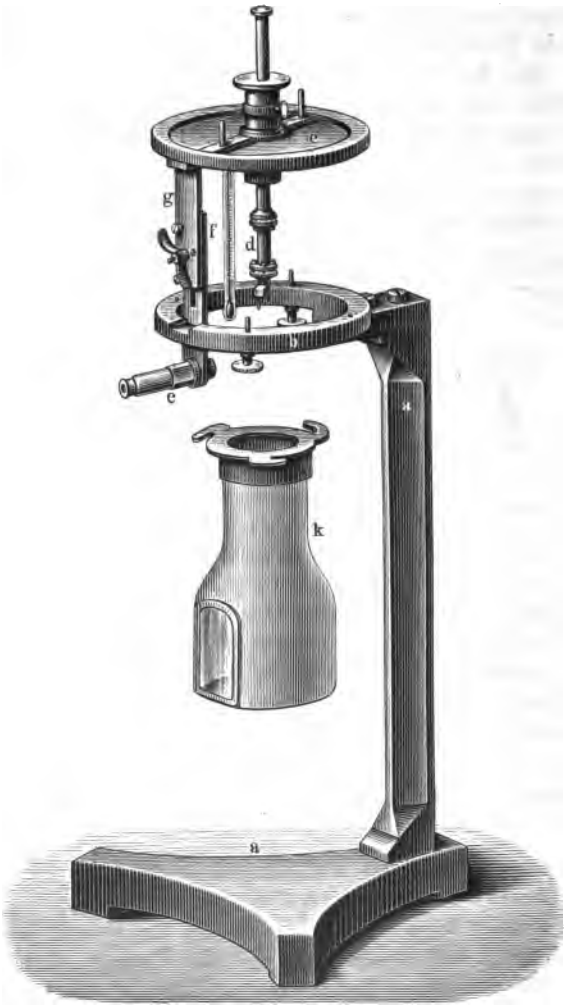
II. Apparat: Das bis auf die mit einer Spiegelglasplatte verschlossene Vorderfläche mit geöltem Papier umkleidete Gefäss k (Fig. 133, a. f. S.) wird mittelst Bajonettverschluss in dem vom Gestelle a getragenen Ringe b befestigt. Auf diesen setzt sich die Platte c, welche an ihrem Rande eine (in der Figur fortgelassene) Theilung trägt. Durch ihre Mitte geht die Stange d, welche durch eine Druckschraube gehalten wird. An Stelle dieser Stange, welche eine in zwei Kugelgelenken bewegliche Klemme zum Festhalten der zu messenden Substanzen trägt, kann auch die Platte h (Fig. 134) in c befestigt werden, an der hinter

einem kleinen Fenster plattenförmige Körper durch die Feder *i* festgehalten werden.

Die Scheibe *c* trägt ausserdem ein kleines Thermometer und das an der Stange *f* und *g* befestigte Fernrohr *e*.

Soll der Brechungsindex einer Flüssigkeit bestimmt werden, so dient zur Aufnahme derselben eine Höhlung in einer ebenen Glasplatte,

Fig. 133.



welche zwischen *i* und *h* eingeklemmt wird; man giesst in dieselbe die betreffende Flüssigkeit und schliesst sie durch eine aufgelegte dünne, planparallele Glasplatte gegen die Umgebung ab.

Der Einfluss der Glasplatte fällt aus der Bestimmung heraus; man bestimmt zwar die Grenze der totalen Reflexion an Glas und Flüssigkeit, die Richtung der reflectirten Strahlen aber wird bei dem Austritt aus Glas in die umgebende Flüssigkeit (CS_2) so geändert, dass der Winkel, den man beobachtet, der gleiche ist, wie der Grenzwinkel bei totaler Reflexion an der Grenze von Schwefelkohlenstoff und der zu untersuchenden Substanz.

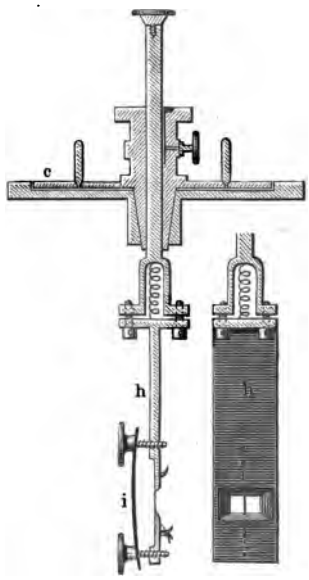
I. Isotrope Körper.

A. Brechungsindex einer Glasplatte.

Uebung. 1) An dem Träger *h* wird die Platte möglichst parallel zu der Axe befestigt und das Gefäss mit Schwefelkohlenstoff *k* darunter.

2) Eine Natriumflamme wird auf die rechte Seite gestellt (Vorsicht wegen Feuersgefahr), zwischen sie und das Totalreflectometer ein Trog mit Alaunlösung gestellt und die Platte so lange gedreht, bis die Grenze der totalen Reflexion das Fadenkreuz schneidet; die Lage der Platte wird an der einen Alhidade abgelesen: α.

Fig. 134.



3) Dasselbe wird auf der linken Seite wiederholt und an derselben Alhidade abgelesen: β. Dann ist:

$$J = \frac{\alpha - \beta}{2}.$$

Der Brechungsindex ist:

$$n = N \sin \frac{\alpha - \beta}{2}.$$

Bei Schwefelkohlenstoff ist der Brechungsindex N für Natriumlicht bei 20^0 1,6274 und nimmt für 1^0 Temperaturerhöhung um 0,0008 ab.

Beispiel: Glasplatte: $\alpha = 155^0 51'$, $\beta = 18^0 45'$, $\frac{\alpha - \beta}{2} = 68^0 33'$. Temperatur 16^0, also $N = 1{,}6274 + 0{,}0008 \cdot 4 = 1{,}6306$. $n = 1{,}5176$.

B. Brechungsindex einer Flüssigkeit.

Uebung. 1) Man füllt die Höhlung der oben erwähnten Glasplatte mit Wasser, setzt das Deckgläschen auf, ohne eine Luftblase einzuschliessen, und klemmt beide an *h* (Fig. 134) fest.

2) Die Bestimmung des Brechungsindex ist dem Obigen zufolge ganz ebenso wie bei A. (Die der Totalreflexion an der Grenzfläche von Wasser und Glas entsprechende Grenze zwischen Hell und Dunkel, die man hier zu benutzen hat, ist diejenige, welche die Theile grösster von

denen mittlerer Dunkelheit trennt; die andere rührt von der Reflexion zwischen Schwefelkohlenstoff und Glas her.)

Beispiel: $\alpha = 143^0 24'$, $\beta = 34^0 0'$, $\frac{\alpha - \beta}{2} = 54^0 42'$. Temperatur 16^0, $N = 1{,}6306$, $n = 1{,}3308$.

II. Doppelbrechende Krystalle.

Princip. Bei einem doppelbrechenden Krystall entstehen aus einem einfallenden Strahl zwei gebrochene, die verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, also auch verschiedene Brechungsindices haben, für die also bei verschiedenen Einfallswinkeln totale Reflexion eintritt. Dreht man eine Platte eines doppelbrechenden Krystalles in einem stark brechenden Medium von kleinen Einfallswinkeln zu immer grösseren, so ist, ehe überhaupt für einen Strahl totale Reflexion eintritt, das Gesichtsfeld von dem partiell reflectirten Licht beider Strahlen beleuchtet; bei einem bestimmten Einfallswinkel wird der eine Strahl (a) total reflectirt, man sieht eine Grenze zwischen weniger hell und heller; bei weiterem Drehen wird auch der zweite Strahl total reflectirt, man erhält eine zweite Grenze (b) zwischen verschieden hellen Theilen. Man sieht meist beide Grenzen gleichzeitig im Gesichtsfelde, der Raum zwischen beiden erscheint, obgleich er überall gleich hell ist, durch Contrast an den der totalen Reflexion anliegenden Partien heller [1]).

Uebung. Brechungsindex eines Topaskrystalles. Es wird in derselben Weise wie oben auf beide Grenzen eingestellt.

Beispiel: Strahl a: $\alpha = 174^0 24'$, $\beta = 7^0 09'$, $\frac{\alpha - \beta}{2} = 83^0 42'$; Strahl b: $\alpha = 172^0 3'$, $\beta = 9^0 18'$, $\frac{\alpha - \beta}{2} = 81^0 18'$, $T = 16^0$, $N = 1{,}6306$, $n_a = 1{,}6208$, $n_b = 1{,}6120$.

2. Totalrefractometer von Abbe.

I. Princip. Zwei rechtwinkelige Prismen ABC und DEF mit ungleich langen Katheten werden mit ihren Hypotenusenflächen AC und ED an einander gelegt. Befindet sich zwischen ihnen Luft oder eine Substanz von kleinerem Brechungsindex als das Glas, so wird beim Drehen der Prismen um eine durch O gehende, zur Ebene der Zeichnung senkrechte Axe ein in der Richtung VW das System durchsetzender Lichtstrahl bei einer gewissen Stellung der Prismen an der Fläche AC total reflectirt. Ein in der Richtung W gelegenes Auge sieht eine in V gelegene homogene Lichtquelle sogleich, eine weisse, nachdem sie eine Reihe von Farben durchlaufen hat, verschwinden: die verschiedenen

[1]) Ueber Messung mit einem Ocularmikrometer ist die Arbeit von F. Kohlrausch selbst zu vergleichen (Wiedemann's Annalen 4, S. 1, 1878).

Farben erfahren successive eine totale Reflexion. Flüssigkeiten bringt man direct zwischen die Prismen. Feste Körper schleift man zu dünnen Platten, legt sie gleichzeitig mit einem Tropfen einer Flüssigkeit, die stärker bricht als sie selbst und sie nicht angreift, zwischen die Prismen. Flüssigkeiten, die sich dazu eignen, sind Cassiaöl ($n = 1{,}60$), Zimmtaldehyd ($n = 1{,}62$), Monobromnaphtalin ($n = 1{,}66$), Schwefelchlorür ($n = 1{,}654$), Selenylchlorür ($n = 1{,}653$), Phenylsulfid ($n = 1{,}623$), Phosphorbromür (n über 1,68), Arsenbromür ($n = 1{,}781$), Naphtylphenylketon ($n_B = 1{,}654$. $n_E = 1{,}678$), Metacinnamen ($n_D = 1{,}593$).

Fig. 135.

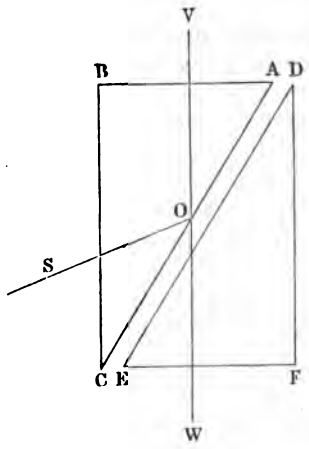
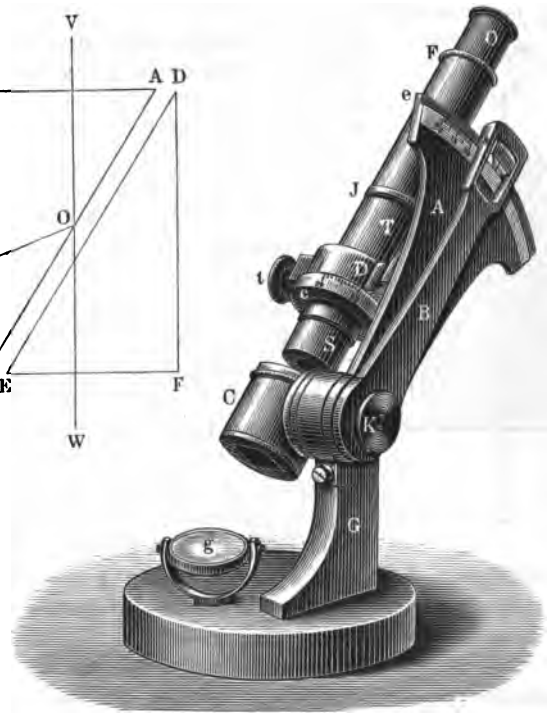


Fig. 136.



Zu bemerken ist, dass die dünne, zwischen das Prisma und den zu untersuchenden Körper gebrachte planparallele Flüssigkeitsschicht ohne Einfluss ist auf die Resultate.

Statt das durchgehende Licht zu betrachten, kann man auch das in der Richtung OS reflectirte untersuchen und erhält dann ein Totalreflectometer.

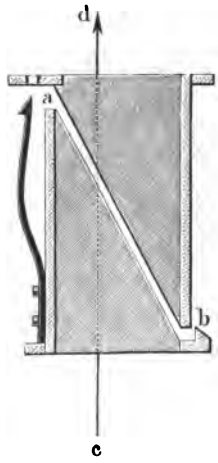
II. Apparat (Fig. 136).

An das Fernrohr OI, in welchem bei F zwei Fadenkreuze ausgespannt sind, ist durch die Hülse T der Compensator D befestigt, der dazu dient, die bei der Totalreflexion auftretende Farbenzerstreuung auf-

zuheben und zu messen. Derselbe besteht aus zwei gleichen Prismensätzen mit gerader Durchsicht (vergl. S. 292), die durch die Schraube t in entgegengesetzter Richtung gedreht werden können; für die an der auf D angebrachten Scala c abgelesene Stellung T giebt eine dem Instrumente beigegebene Tafel die Dispersion Δ zwischen den Linien D und F des Sonnenspectrums. Das Fernrohr ist an dem Sector A befestigt, der durch die Schraube K in einer solchen Stellung zu dem dem Fenster zugekehrten Spiegel g festgestellt wird, dass das Gesichtsfeld gleichmässig hell erscheint.

Vor dem Fernrohr wird das Glasparallelepiped C (Fig. 136), das in Fig. 137 noch einmal abgebildet ist, vergl. auch Fig. 135, mittelst eines Bajonettverschlusses befestigt und dadurch mit der Alhidade B, die oben einen Index trägt, fest verbunden. Die auf A angebrachte Theilung lässt die Brechungsindices für das mittlere Gelb unmittelbar ablesen.

Fig. 137.



I. Flüssigkeiten.

Uebung. 1) Das Instrument wird nach vorn gedreht, bis es fast horizontal liegt und das bewegliche Stück des Doppelprismas durch Niederdrücken der Feder (Fig. 137) entfernt.

2) Die Prismenflächen werden gereinigt, an die kurzen Seiten derselben werden kurze Streifen von dünnem Papier gelegt und auf die Fläche des festen Prismas wird ein Tropfen der zu untersuchenden Flüssigkeit gebracht.

3) Das bewegliche Prisma wird wieder eingesetzt, das ganze Fernrohr herumgedreht und die Alhidade an den Anfang der Theilung gebracht; das Instrument und der Spiegel g wird so gestellt, dass das ganze Gesichtfeld gleichmässig erleuchtet ist.

4) Man bewegt die Alhidade aufwärts, bis die untere Hälfte des Gesichtsfeldes dunkel erscheint; dieselbe ist von dem oberen hellen Theile des Gesichtsfeldes zunächst noch durch einen farbigen Saum getrennt.

5) Durch Drehen an dem Triebkopf t des Fernrohres bewirkt man, dass die Grenze zwischen Hell und Dunkel eine möglichst farblose Linie wird.

6) Man stellt durch Drehen an der Alhidade die Grenzlinie auf die Durchschnittspunkte der Fäden und liest die Stellung der Alhidade (A_1) und der Trommel D (T_1) ab.

7) Man dreht an dem Triebkopfe t so lange, bis die Grenzlinie zum zweiten Male farbenrein erscheint, stellt mit der Alhidade abermals ein und liest zum zweiten Male ab: A_2 und T_2.

Zur Berechnung dient die S. 270 erwähnte, dem Instrument beigegebene Tafel.

Beispiel: Destillirtes Wasser: $A_1 = 1{,}3268$, $T_1 = 36{,}5$. $A_2 = 1{,}3274$, $T_2 = 36{,}7$. $A = 1{,}3271$, $T = 36{,}6$. Aus der dem Instrument beigegebenen Tafel findet man: $\Delta = 0{,}04299$.

II. Feste Körper.

Uebung. 1) Das Fernrohr wird umgelegt, das bewegliche Prisma abgenommen und ein Tropfen einer stärker als der zu untersuchende Körper brechenden Flüssigkeit, z. B. Cassiaöl, auf das feste Prisma gebracht.

2) Der Körper wird mit einer ebenen, etwas polirten Fläche auf das Prisma gelegt, das bewegliche Prisma wieder aufgesetzt und durch einen Drahtbügel auf demselben festgehalten. Das Fernrohr wird wieder herumgedreht und weiter wie unter 1) verfahren.

Beispiel: Flussspath: $A = 1{,}1217$, als Brechungsexponent von Cassiaöl gegen Flussspath $= n_{23}$ (vergl. S. 246). Für das Cassiaöl selbst wurde nach Methode I. $n_{13} = 1{,}6073$ gefunden, also ist der Brechungsexponent von Flussspath gegen Luft $n_{12} = \frac{n_{13}}{n_{23}} = 1{,}4331$.

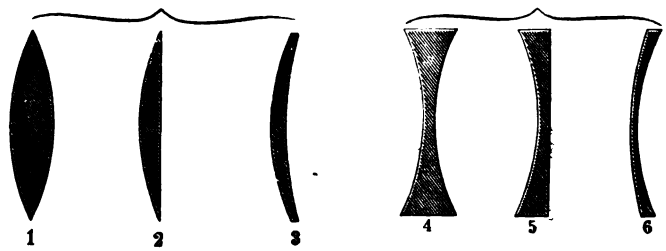
V. Linsen.

Gebraucht wird: Optische Bank mit Trägern, vergl. S. 231; Lampe und Schirm; mehrere Convex- und Concavlinsen; Centimeterstab.

Einleitung: Linsen sind Stücke eines durchsichtigen Materials, welche durch bestimmte Flächen, gewöhnlich durch zwei Kugelflächen oder eine Kugelfläche und eine Ebene, begrenzt sind. Die durch die Mittelpunkte der Kugeln gelegte gerade Linie oder die durch den Mittelpunkt der einen Kugel gehende und auf der ebenen Fläche senkrecht stehende Gerade heisst die Axe der Linse.

Man unterscheidet (Fig. 138) Sammellinsen 1 bis 3 und Zerstreuungslinsen 4 bis 6. Bei ersteren wächst die Dicke nach der

Fig. 138.



Mitte zu, bei letzteren nimmt sie nach der Mitte hin ab. Je nach der Gestalt der Begrenzungsflächen unterscheidet man bei den Sammellinsen:

biconvexe	Fig. 138, Nr. 1
planconvexe	„ „ 2
concavconvexe	„ „ 3,

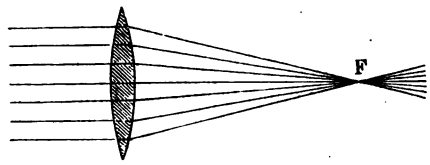
bei den Zerstreuungslinsen:

biconcave	Fig. 138, Nr. 4
planconcave	„ „ 5
convexconcave	„ „ 6.

Die Sammellinsen vereinigen parallel auffallende, etwa von der Sonne kommende Strahlen in einem Punkte F (Fig. 139) hinter ihnen, in dem sogenannten Brennpunkte. Hält man in ihn ein Blatt Papier, so erhält man ein reelles Bild der Sonne.

Die Zerstreuungslinsen werfen parallel auffallende Strahlen aus einander und zwar so, als ob sie aus einem Punkte F (Fig. 140) vor der Linse kämen. In diesem Punkte F schneiden sich die Strahlen nicht wirklich, sondern nur ihre Verlängerungen nach rückwärts, man könnte sie hier nicht auffangen. Man bezeichnet auch hier den Punkt F als den Brennpunkt, doch ist er hier ein virtueller (vgl. S. 238).

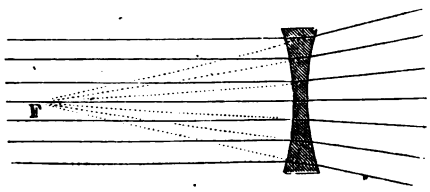
Fig. 139.



Sammellinsen haben also reelle Brennpunkte, Zerstreuungslinsen virtuelle.

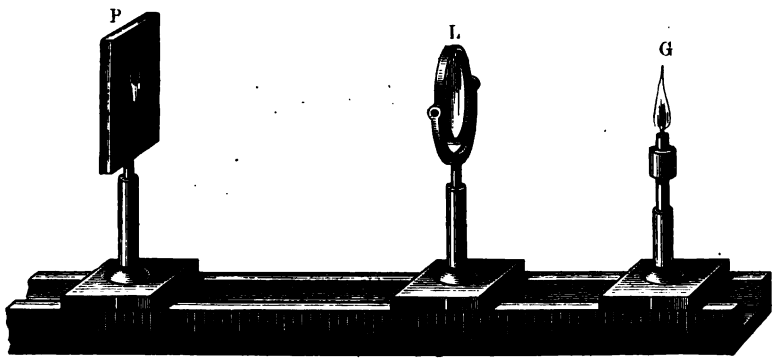
Die Entfernung φ des Punktes F von der Linse nennt man bei den Sammellinsen die Brennweite, bei den Zerstreuungslinsen die Zerstreuungsweite oder die negative Brennweite.

Fig. 140.



Stellt man vor eine Sammellinse L (Fig. 141) einen Gegenstand G in der Entfernung a von der Linse „der Gegenstandsweite", welche grösser als die Brennweite φ ist, auf, so werden die von einem jeden Punkte des Gegenstandes ausgehenden Strahlen wieder in einem Punkte vereinigt; man erhält ein Bild B des Gegenstandes in der Entfernung b

Fig. 141.



„der Bildweite" von der Linse. Für Sammellinsen gilt die Formel:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{\varphi}.$$

Für Zerstreuungslinsen gilt dieselbe Formel.

Bei Sammellinsen ist φ positiv, bei Zerstreuungslinsen negativ zu nehmen.

Misst man die lineare Grösse von Gegenstand (L) und Bild (l), so findet man, dass immer ist:

$$L : l = a : b.$$

Die Gegenstandsgrösse verhält sich zur Bildgrösse wie die Gegenstandsweite zur Bildweite.

Das Verhältniss der Flächen des Gegenstandes G und des Bildes g ist:

$$G : g = L^2 : l^2 = a^2 : b^2.$$

Wie bei den gekrümmten Spiegeln erhält man auch bei den Linsen reelle und virtuelle Bilder. Die Sammellinsen liefern von Gegenständen unter gewissen Bedingungen reelle Bilder, unter anderen virtuelle Bilder, die Zerstreuungslinsen nur virtuelle Bilder. Reelle Bilder sind verkehrt, virtuelle dagegen aufrecht stehend.

Wir haben nach der Formel reelle Bilder, wenn bei gegebener Brennweite φ und gegebener Gegenstandsweite a die Bildweite b positiv ist, das Bild also hinter der Linie liegt, virtuelle, wenn b negativ ist.

Im Folgenden sind die wichtigsten Fälle zusammengestellt:

1) Sammellinsen.

Von $a = \infty$ bis $a = 2\varphi$, d. h. wenn der Gegenstand von der Unendlichkeit bis in die doppelte Brennweite heranrückt, hat man reelle, verkehrte, kleinere Bilder zwischen der Brennweite und der doppelten Brennweite.

Von $a = 2\varphi$ bis $a = \varphi$, d. h. wenn der Gegenstand von der doppelten Brennweite bis in die Brennweite rückt, hat man reelle, verkehrte, grössere Bilder zwischen der doppelten Brennweite und der Unendlichkeit.

Von $a = \varphi$ bis $a = 0$, d. h. wenn der Gegenstand von der Brennweite bis an die Linse heranrückt, hat man virtuelle, aufrechte, grössere Bilder, die aus der Unendlichkeit bis an die Linse rücken.

2) Zerstreuungslinsen.

Von $a = \infty$ bis $a = 0$, d. h. wenn der Gegenstand von der Unendlichkeit bis an die Linse heranrückt, hat man virtuelle, aufrechte, kleinere Bilder.

I. Vorübung.

Auf Schlitten der S. 273 beschriebenen optischen Bank werden gesetzt: ein Argandbrenner mit einem Schwarzblechcylinder, in den ein verticaler Pfeil eingeschnitten ist, eine Sammel- oder eine Zerstreuungslinse und ein Schirm.

Die Linse wird allmählich aus möglichst grosser Entfernung der Lampe genähert und die Lagen des Schirmes gesucht, bei denen die Bilder auf ihm scharf erscheinen; ferner wird die wechselnde Grösse

derselben beachtet. Sind keine Bilder mehr zu erhalten, so nimmt man den Schirm fort und beobachtet mit dem Auge direct. Man überzeugt sich zunächst davon, dass bei den Stellungen der Linse, bei denen dieselbe reelle, verkehrte Bilder auf dem Schirm liefert, man auch verkehrte Bilder sieht, und zwar an den Stellen, wo sie vorher auf dem Schirm entstanden. Für die Stellungen der Linse, bei denen man keine Bilder mehr auf dem Schirm erhält, sieht man aufrechte, virtuelle Bilder.

II. Prüfung der Linsenformel und Methoden zur Bestimmung der Brennweite von Sammellinsen.

A. Directe Methoden zur Bestimmung der Brennweite.

a) Am Ende eines Maassstabes ist senkrecht zu demselben ein weisser Schirm angebracht, der Maassstab wird so geneigt, dass seine Richtung parallel derjenigen der Sonnenstrahlen ist; längs desselben wird die zu untersuchende Linse so lange verschoben, bis ein ganz scharfes Bild der Sonne auf dem Papier entsteht; der Abstand der Linse von dem Papier ist die Brennweite. Statt der Sonne kann man auch das Bild eines fernen Gegenstandes, eines Hauses, Baumes oder dergl. verwenden.

b) Princip. Strahlen, welche von dem Brennpunkte ausgehen und auf eine Linse fallen, werden von dieser parallel gemacht.

Uebung. 1) Ein Fernrohr wird auf einen sehr entfernten Gegenstand scharf eingestellt, so dass das Bild desselben und das Fadenkreuz bei einer Bewegung des Auges sich nicht gegen einander verschieben, dann werden die parallel auf die Objectivlinse des Fernrohres fallenden Strahlen auf dem Fadenkreuz vereint, dieses steht im Brennpunkte der Objectivlinse. 2) In einiger Entfernung vom Fernrohr stellt man ein mit Zeichen, Buchstaben etc. versehenes Blatt Papier auf und stellt zwischen dieses und das Fernrohr die zu untersuchende Linse. 3) Man verschiebt die Linse so lange, bis man durch das Fernrohr die Zeichen möglichst scharf erkennt und sie sich bei einer Verschiebung des Auges nicht gegen das Fadenkreuz verschieben. 4) Mit einem Maassstabe misst man den Abstand zwischen Linse und Zeichnung; dies ist die Brennweite φ. Die von jedem Punkte der Zeichnung kommenden Strahlen fallen parallel auf das Objectiv des Fernrohres, die zu untersuchende Linse hat sie also parallel gemacht, die Zeichnung steht im Brennpunkte derselben.

B. Prüfung der Linsenformel und Benutzung derselben zur Bestimmung der Brennweite.

Auf die optische Bank werden vier Schlitten aufgesetzt: der eine trägt einen Argandbrenner mit einem Schwarzblechcylinder mit rundem Loch, der zweite eine Glasplatte mit eingeritzter Millimeterscala, der dritte die zu untersuchende Linse, der vierte einen grossen weissen Schirm. Durch den Brenner wird die unmittelbar vor dem Loch

stehende Scala beleuchtet, welche hierdurch zum selbstleuchtenden Gegenstande wird. Auf dem Schirme wird das Bild der Scala aufgefangen.

Uebung. 1) Man stellt den Schirm in einer bestimmten Entfernung vom Gegenstande auf, 2) verschiebt die Linse so lange, bis sich auf dem Schirme ein deutliches, freilich von farbigen Rändern umgebenes Bild der Scala zeigt und 3) liest an der Theilung die Stellungen der Indices an Schirm, Scala und Linse ab. Es seien die Lagen der Indices auf der Bank für Gegenstand x, Linse y, Schirm z. 4) Zugleich misst man bei jeder Stellung die Länge l des Bildes eines Theiles der Scala, die 10 mm entspricht; dann ist $L = 10$ mm.

Dann ist:
$$a = y - x$$
$$b = z - y.$$

Auszuführen für zwei Linsen mit φ gleich ca. 17 und 37 cm und je drei Entfernungen.

Beispiel:

$a = y - x =$	50	54,5	85
$b = z - y =$	140	115,5	65
$\varphi =$	36,8	37,0	36,8

Da stets für φ derselbe Werth resultirt, so gilt die Formel:

$l =$	28	21	7,5
$10\frac{b}{a} =$	28	21,2	7,6

also ist immer $l = 10\,\frac{b}{a}$.

Mit der obigen Linse fand sich das Bild einer Kirchthurmspitze im Abstande der Brennweite von 36,8 cm auf dem dahinter gehaltenen Schirm.

Aus zusammengehörigen Messungen von y und z ergiebt sich also in der That die Brennweite φ.

C. Sphärische und chromatische Aberration der Linsen.

Die von den gewöhnlichen Linsen entworfenen Bilder sind nicht ganz weiss. Dies tritt noch deutlicher hervor, wenn man die Glasplatte mit der Scala fortnimmt und von der kreisförmigen Oeffnung in dem Schwarzblechcylinder der Lampe ein Bild entwirft; dieses ist von farbigen Säumen umgeben.

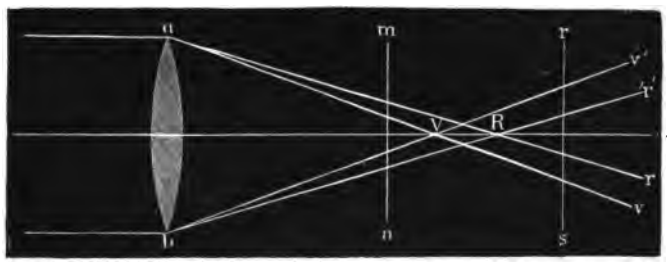
Uebung. Rückt man den Schirm von der Stellung grösster Schärfe des Bildes zwischen V und R näher an die Linse heran, etwa in die Stellung mn, Fig. 142, so erscheint das Bild von einem gelblich-röthlichen Saume umgeben.

Entfernt man dagegen den Schirm weiter, etwa bis nach rs, so verschwindet der rothe Saum und ein blauer tritt am äusseren Rande des Bildes auf.

Die blauen Strahlen werden näher an der Linse bei V vereinigt, die rothen weiter von derselben bei R; die Stellung grösster Schärfe entspricht der Vereinigung der hellsten, d. h. der gelben Strahlen. Aus

der Figur ist der Gang der rothen und blauen Strahlen ohne Weiteres ersichtlich, auch wie sich die Reihenfolge der Farben von dem mittleren Strahl nach aussen beim Uebergang von *mn* nach *rs* umkehrt. Die auf der verschiedenen Brechbarkeit der Farben beruhende Abweichung der Linsenbilder nennt man die „chromatische Abweichung". Man kann sie und damit die farbigen Ränder durch Combination zweier Linsen von verschiedenen Glassorten, z. B. einer

Fig. 142.



Convexlinse aus Crownglas und einer Zerstreuungslinse aus Flintglas (Fig. 143) wesentlich vermindern; eine solche Linsenzusammenstellung ohne wesentliche Farbenabweichung wird als „achromatische Linse" bezeichnet.

Ferner bemerkt man, dass die geradlinigen und unter sich parallelen Striche der Scala nicht vollständig geradlinig abgebildet werden; die nach dem Rande zu gelegenen Striche erscheinen verzerrt und gebogen.

Fig. 143.

Diese Verzerrung hat ihren Grund in der sphärischen Gestalt der Linsenfläche und wird daher als „sphärische Aberration" bezeichnet.

Wenn man durch ein vorgehaltenes schwarzes Papier oder Blech mit einem kreisförmigen Loch (ein sogenanntes Diaphragma) die Linse bis auf ihre mittleren Theile abblendet, so wird das Bild zwar lichtschwächer, aber sowohl farbenreiner als auch freier von sphärischer Abweichung. Es sind also vornehmlich die Randstrahlen, welche die Störung verursachen. Diese blendet man daher bei allen optischen Instrumenten so weit wie möglich durch Diaphragmen ab.

Die sphärische Abweichung kann man bis zu einem hohen Grade durch Anwendung mehrerer Linsen corrigiren; ein solches Linsensystem, welches Bilder ohne merkliche Verzerrungen zeigt, wie dies namentlich bei der Construction von photographischen Apparaten nöthig ist, nennt man aplanatische Linsen (Aplanate).

D. Methode von Bessel der Bestimmung der Brennweite.

Stellt man den Schirm in einer beliebigen Entfernung vom Gegenstande, in unserem Falle der Scala, auf, so giebt es zwischen denselben zwei Stel-

lungen der Linse, bei denen auf dem Schirme ein deutliches Bild der Scala erscheint. Es rührt dies daher, dass die obige Formel $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{\varphi}$ in Bezug auf die Grössen a und b symmetrisch ist; man kann gleichsam bei der zweiten Stellung der Linse das Bild als Gegenstand, den Gegenstand als Bild auffassen. Ist φ wieder die gesuchte Brennweite der Linse, e die Entfernung des Schirmes von dem Gegenstande und v die Grösse der Verschiebung, welche man der Linse ertheilen muss, um von der ersten Stellung derselben, in welcher ein scharfes Bild entsteht, zu der zweiten Stellung zu gelangen, in welcher dies wieder der Fall ist, so besteht die Gleichung:

$$\varphi = \frac{1}{4}\left(e - \frac{v^2}{e}\right).$$

Apparat wie oben bei der ersten Methode.

Uebung. 1) Man stellt den Schirm in einer gewissen, nicht zu kleinen Entfernung vom Gegenstande auf und stellt die Linse zwischen Gegenstand und Schirm so auf, dass ein scharfes Bild auf dem Schirme entsteht. 2) Dann verschiebt man die Linse (aber ohne die Stellung des Schirmes und der Scala zu verändern) so lange, bis wiederum die Scala auf dem Schirme deutlich sichtbar wird.

Die Stellungen der Schlitten auf der Bank seien folgende: für den Gegenstand x, die Linse in der ersten Lage y_1, die Linse in der zweiten Lage y_2, Schirm z, dann ist:

$$e = z - x \qquad v = y_2 - y_1.$$

Mit zwei Linsen und zwei Entfernungen zwischen Schirm und Scala, wie oben, auszuführen.

Beispiel:		
	$e = 175$	150
	$v = 69$	20,5
	$\varphi = 36{,}9$	36,8

III. Bestimmung der Brennweite von Zerstreuungslinsen.

A. Directe Methode.

Princip. Es falle ein paralleles Strahlenbündel von kreisförmigem Querschnitt auf einen Schirm S (Fig. 144) und beleuchte dort eine Fläche vom Durchmesser d; wir stellen in den Weg der Strahlen eine Zerstreuungslinse in der Entfernung e von dem Schirm auf; durch sie werden die parallelen Strahlen divergent gemacht und erleuchten eine grössere Fläche vom Durchmesser d', sie scheinen von einem Punkte F zu kommen, der um die Zerstreuungsweite oder die virtuelle Brennweite φ von der Linse absteht. Aus der Figur folgt:

$$d' : d = e + \varphi : \varphi,$$

$$\varphi = \frac{de}{d' - d}.$$

Stellt man den Schirm so, dass der Radius des Zerstreuungskreises auf ihm doppelt so gross wie der des ursprünglichen ohne Linse ist, so ist:

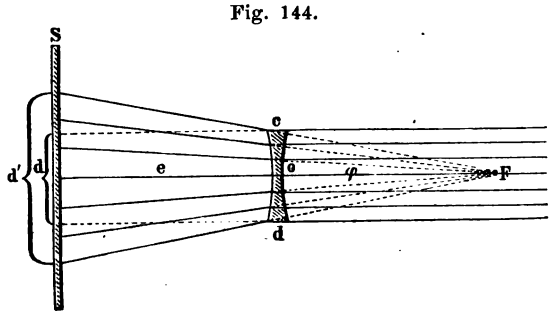
$$d' = 2\,d, \quad \text{also:} \quad \varphi = e,$$

die Zerstreuungsweite ist dann gleich dem Abstande des Schirmes von der Linse.

Uebung 1. a) Durch einen Heliostaten lässt man durch ein kreisrundes Diaphragma vom Durchmesser d auf die auf der optischen Bank aufgestellte Linse ein Strahlenbündel von der Sonne fallen, stellt den Schirm hinter die Linse, misst den Durchmesser d' des Zerstreuungskreises auf dem Schirm, den Durchmesser des Diaphragmas, sowie den Abstand von Schirm und Linse e.

b) Man zeichnet auf dem Schirm einen Kreis von dem doppelten Durchmesser als dem des Diaphragmas, verschiebt den Schirm so lange,

Fig. 144.



bis der Zerstreuungskreis gerade bis an die Grenzen desselben reicht und misst e.

Uebung 2. 1) Ueber die Gaslampe auf der optischen Bank wird ein Schwarzblechcylinder mit kleinem, rundem Loch gestellt.

2) Das Loch wird in die Brennweite einer mit einer kreisförmigen Blende bedeckten Sammellinse gestellt, die auf der optischen Bank steht; dann verlassen die von dem Loch ausgehenden Strahlen die Linse als paralleles Strahlenbündel.

3) Man überzeugt sich von der Parallelität der Strahlen dadurch, dass man den Schirm in verschiedenen Abständen von der Linse aufstellt, und ermittelt, ob der Durchmesser des hellen Kreises stets gleich gross ist. Ist dies nicht der Fall, so ändert man die Stellung der Sammellinse entsprechend.

4) Man misst den Durchmesser des hellen Kreises d.

5) Man stellt die Zerstreuungslinse zwischen Schirm und Sammellinse auf, bringt den Schirm in verschiedene Entfernungen e von der Zerstreuungslinse und ermittelt jedesmal die Grösse des Durchmessers d' des hellen Kreises.

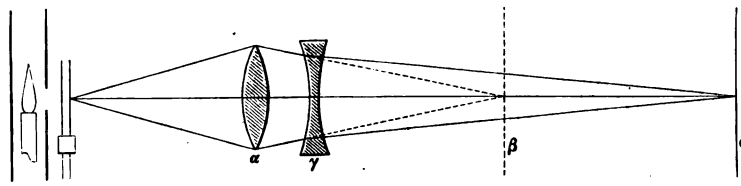
Aus den zusammengehörigen Werthen von e und d' ergiebt sich dann φ.

Beispiel: $d = 7{,}5$ cm, $d' = 20{,}0$ cm, $e = 30$ cm, $\varphi = 18$ cm.

B. Indirecte Methode mit Hülfe der Linsenformel S. 273.

I. Princip. Da parallel oder divergent auffallende Strahlen von einer Zerstreuungslinse nicht zu einem reellen Bilde vereint werden, so muss man, um mit derselben ein reelles Bild zu erhalten, convergente Strahlen auf die Linse auffallen lassen, die also einem hinter der Linse gelegenen Gegenstande, d. h. einem negativen a, zukommen. Es mögen die Strahlen durch eine Sammellinse α convergent gemacht sein. Wenn man dann die Zerstreuungslinse zwischen die Sammellinse und das reelle Bild β, welches sie für sich liefert, einschaltet, so kann das reelle Bild in β nicht zu Stande kommen. Die Strahlen convergiren weniger und liefern eventuell

Fig. 145.



erst bei δ ein reelles Bild. Hierbei ist also β gewissermaassen ein virtueller Gegenstand für die Linse γ.

II. Apparat: Optische Bank mit fünf Schlitten für die Flamme, die Scala, den Schirm, für eine ziemlich stark gekrümmte Convexlinse, Brennweite etwa 12 cm, und die zu untersuchende Concavlinse.

III. **Uebung.** 1) Man stellt (Fig. 145) die Convexlinse und den Schirm auf der Bank so auf, dass auf letzterem ein scharfes Bild der Scala entsteht. Bei dieser Einstellung sei α die Lage der Linse, β die betreffende Lage des Schirmes (gemessen auf der optischen Bank). 2) Dann stellt man die Concavlinse zwischen α und β in γ auf und verschiebt den Schirm so lange, bis wieder ein scharfes Bild erzeugt wird. Ist jetzt δ die Lage des Schirmes, so ist:

$$a = -(\beta - \gamma), \qquad b = +(\delta - \gamma),$$

also

$$-\frac{1}{\beta - \gamma} + \frac{1}{\delta - \gamma} = \frac{1}{\varphi}.$$

Auszuführen mit zwei Linsen und je drei Entfernungen.

Beispiel:

$\beta = 118{,}75$	$\gamma = 105{,}75$	$\delta = 166{,}25$	$\varphi = -16{,}5$
$\beta = 118{,}75$	$\gamma = 104{,}25$	$\delta = 242{,}00$	$\varphi = -16{,}2$

Die untersuchte Linse ist dieselbe, wie die oben unter A. untersuchte, für die wir $\varphi = -18$ fanden, die Abweichung zwischen den

beiden Werthen rührt daher, dass gewisse bei der Ableitung der Formeln gemachte Annahmen nicht streng erfüllt sind.

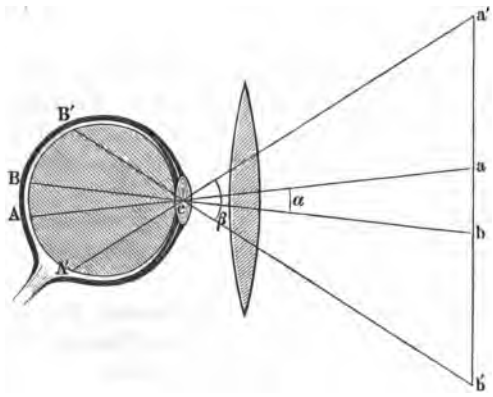
Wir finden für φ einen negativen Werth, d. h. nach dem Durchgange durch die Linse scheinen parallel auffallende Strahlen von einem Punkte herzukommen, der auf Seite der Linse liegt, von welcher die Strahlen kommen.

IV. Bestimmung der Vergrösserungszahl von Fernrohren, Mikroskopen und Lupen.

Gebraucht wird: Fernrohre, Mikroskope und Lupen; Latte mit buntfarbigen Papierstreifen; schwarz angestrichenes Lineal mit weissen, gleich breiten Querstrichen; zugehörige Stative; Papierscala; Fassung mit geneigtem Spiegelglas für Mikroskop und Lupe.

Die Vergrösserungszahl eines Fernrohres ist das Verhältniss der Winkel, unter welchen ein Gegenstand einmal mit dem Fernrohre, das andere Mal mit blossem Auge gesehen erscheint.

Fig. 146.



Die Vergrösserungszahl eines Mikroskopes ist das Verhältniss des Winkels, unter welchem ein Gegenstand im Mikroskop erscheint, zu demjenigen, unter welchem er gesehen wird, wenn er sich in der deutlichen Sehweite befindet. Die deutliche Sehweite wird in der Regel zu 25 cm angenommen.

Die Grösse einer Linie ab (Fig. 146) beurtheilen wir nach dem Winkel α, unter dem sich die von den Enden von ab ausgehenden Strahlen in dem Mittelpunkt c der Pupille schneiden, den Sehwinkel, da durch diesen Winkel auch die Strecke bestimmt ist, um den die Bilder AB der Punkte a und b auf der Netzhaut von einander abstehen. Schalten wir zwischen ab und das Auge eine passende Linse ein, so werden die in der Richtung ac und bc von ab ausgehenden Strahlen, ehe sie das Auge treffen, so abgelenkt, dass sie in den Richtungen $a'c$ $b'c$ in das Auge zu kommen scheinen; sie bilden bei c einen Winkel β mit einander[1]). Im Verhältniss β/α erscheint uns daher bei Einschaltung

[1]) Die Zeichnung ist nur schematisch, die Art der Ablenkung durch die Linse ist nicht angedeutet.

der Linse der Gegenstand vergrössert. Verlängern wir die in der Richtung $a'c$ und $b'c$ auffallenden Strahlen, bis sie eine bei ab senkrecht zu der Verbindungslinie zwischen dem Auge und dem betrachteten Gegenstande gelegte Ebene schneiden, so geschieht dies in den Punkten a' und b'. Durch die Linse betrachtet, erscheint uns also ein Gegenstand ab gerade so gross, wie ohne dieselbe ein Gegenstand $a'b'$ in derselben Entfernung. ab erscheint also im Verhältniss $a'b'/ab$ vergrössert, dies ist sehr nahe gleich β/α.

Beim Betrachten mit dem Fernrohr befindet sich ab stets in einer gegebenen Entfernung, wir vergleichen daher die scheinbare Grösse $a'b'$ mit der wirklichen von ab, wenn letzteres sich an seinem wahren Orte befindet. Bei Gegenständen, die wir beliebig dem Auge nähern können, vergleichen wir bei der Untersuchung mit der Lupe und dem Mikroskop die scheinbare Grösse mit derjenigen, welche sie haben, wenn sie sich in der deutlichen Sehweite befinden.

Blicken wir auf einen Maassstab gleichzeitig durch ein Fernrohr und mit dem unbewaffneten Auge, und fallen auf x Theile des direct gesehenen, y Theile des durch das Fernrohr gesehenen Maassstabes, so ist die Vergrösserungszahl

$$V = x/y.$$

Blicken wir gleichzeitig durch ein Mikroskop, unter dem ein Maassstab liegt, und direct auf einen eben solchen Maassstab in der Entfernung der deutlichen Sehweite und fallen auf x_1 Theile des direct gesehenen, y_1 Theile des durch das Mikroskop gesehenen Maassstabes, so ist die Vergrösserungszahl

$$V_1 = x_1/y_1.$$

a) Fernrohr.

Uebung 1. 1) Man hängt über ein in einiger Entfernung von dem Fernrohr in horizontaler Lage befestigtes Lineal zwei umgebogene, etwa centimeterbreite Papierstreifen, einen rothen und einen blauen.

2) Man richtet zunächst das Fernrohr auf einen der Streifen, etwa den rothen, und stellt scharf ein. Dann blickt man nach dem Papierstreifen mit dem eventuell noch mit einer Brille versehenen einen Auge direct, mit dem anderen durch das Fernrohr hindurch. Man sieht dann zwei Bilder, welche sich über einander lagern.

3) Man lässt durch einen Gehülfen den blauen Streifen so lange hin- und herschieben, bis der Abstand der beiden Streifen, mit blossem Auge gesehen, gerade der durch das Fernrohr gesehenen Breite des rothen Streifens gleich ist.

4) Man misst die Entfernung der beiden Streifen E und die Breite des rothen b.

Dann ist die Vergrösserungszahl $V = E/b$.

Beispiel: $E = 22$ cm, $b = 1{,}1$ cm. $V = E/b = 20$.

Uebung 2. Ein Fernrohr ist nach einer Scala gerichtet, an der ein Streifen parallel zu den Strichen der Scala befestigt ist, welcher so schmal ist, dass er im Fernrohre nur einen Theil des Gesichtsfeldes erfüllt. (Man nimmt am besten einen schmalen weissen Streifen *b*, den man unterhalb einer Scala *a*, bestehend aus weissen Strichen auf schwarzem Hintergrunde, anbringt, Fig. 147.) Das Fernrohr muss so befestigt sein, dass man an demselben seitlich vorbei sehen kann. Man stellt die Scala in derjenigen Entfernung vom Fernrohr auf, in welcher man das Fernrohr später benutzen will, richtet das Fernrohr auf dieselbe und stellt scharf ein, während man gleichzeitig die Scala mit blossem Auge betrachtet. Nun dreht man das Fernrohr so lange, bis der eine Rand des durch das Fernrohr gesehenen weissen Streifens mit einem Theilstrich der direct gesehenen Scala zusammenfällt, und bestimmt die Stelle, auf die der andere Rand des Streifens fällt. Dieselbe Messung wird angestellt, indem man die Augen vertauscht. Der Versuch ist mit zwei verschieden breiten Streifen anzustellen. Das Verhältniss der wirklichen Breite des Streifens und der scheinbaren giebt die Vergrösserungszahl des Fernrohrs[1]).

Fig. 147.

Beispiel:

Breite des Streifens: 5 mm.
Breite der Stelle der Scala, welche von ihm bedeckt wird: 102 mm.
Vergrösserungszahl: 20,4.

b) Mikroskop.

Zur Bestimmung der Vergrösserungszahl des Mikroskopes dienen zwei Methoden, bei beiden wird eine in Bruchtheile des Millimeters, etwa in fünftel Millimeter getheilte Glasplatte auf den Objecttisch des Mikroskops gelegt.

Erste Methode. Man legt eine Millimeterscala horizontal in die deutliche Sehweite vor das Mikroskop und verfährt genau wie bei der Bestimmung der Vergrösserungszahl des Fernrohres.

Zweite Methode. Man setzt eine an einer Fassung befestigte, unter 45° gegen die Horizontale geneigte Glasplatte oder einen Spiegel, dessen Belegung in der Mitte fortgekratzt ist und dessen spiegelnde Fläche sich oben befindet, auf das Ocular, stellt einen verticalen Maassstab in 25 cm Entfernung vom Mikroskope auf, blickt durch das Ocular auf die getheilte Glasplatte auf dem Objecttisch und verschiebt den Maassstab so lange hin und her, bis man den gespiegelten Maassstab und die getheilte Glasplatte gleichzeitig sieht. Dabei ist die Beleuchtung

[1]) Nach einiger Uebung kann man die Vergrösserungszahl eines Fernrohres dadurch bestimmen, dass man dasselbe auf ein Dach richtet und bestimmt, auf wie viele direct gesehene Dachziegel ein durch das Fernrohr gesehener zu fallen scheint.

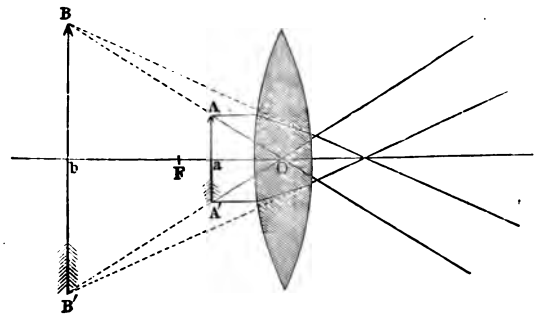
der Glasplatte so einzurichten, dass die Helligkeit des einen Objects die des anderen nicht sehr übertrifft. Man bestimmt nun an der verticalen Scala die Zahl der Theilstriche des Maassstabes, welche auf $^1/_5$ mm, wie es im Mikroskop erscheint, kommen. Ist x die Zahl der Millimeter-Theilstriche, so ist die Vergrösserung $= 5\,x$.

Beispiel: $x = 20$, $v = 100$.

c) Lupe (vergl. Fig. 148).

Bei der Lupe bringen wir den Gegenstand $A\,A'$ sehr nahe an das Auge, so dass derselbe unter einem sehr grossen Winkel erscheint. Die von jedem Punkte desselben auf das Auge fallenden Strahlen besitzen aber eine zu grosse Divergenz, als dass die brechenden Medien des Auges sie auf der Retina zu einem Bilde vereinigen könnten. Durch eine zwischen Auge und Gegenstand so eingeschaltete Sammellinse O, dass der Gegenstand sich zwischen Brennpunkt F und Linse befindet, wird die Divergenz so vermindert, dass die Strahlen aus der deutlichen Sehweite zu kommen scheinen. Das Bild $B\,B'$ in der deutlichen Sehweite ist virtuell. Der Winkel, unter dem dasselbe erscheint, bleibt derselbe wie bei directer Betrachtung.

Fig. 148.



Die Vergrösserung V ist das Verhältniss der Grösse des virtuellen Bildes $B\,B'$ zur Grösse des Objectes $A\,A'$.

Hält man die Lupe sehr nahe vor das Auge, ist $\Delta = 25$ cm die deutliche Sehweite, φ die Brennweite der Lupe, so ist:

$$V = \frac{\Delta}{\varphi} + 1.$$

Uebung. 1) Für eine Linse wird die Brennweite φ nach der ersten Methode S. 275 bestimmt und damit V berechnet. 2) Um die Vergrösserung nach der zweiten bei dem Mikroskop angegebenen Methode zu ermitteln, klebt man eine kleine Glasplatte unter 45^0 gegen die Axe der Linse geneigt, auf dieselbe. Man vergleicht die gefundene und berechnete Vergrösserung.

Beispiel: 1) $\varphi = 8$ cm; berechnet $V = 4$. 2) Von einer durch die Lupe betrachteten Millimeterscala erschien die Länge von 5 mm ebenso gross, wie die Länge von 2 cm der um die deutliche Sehweite vom Auge entfernten und durch die Glasplatte gespiegelten Scala; also auch hier $V = 4$.

VI. Spectralanalyse.

Gebraucht wird: Eine Gaslampe; ein Bunsenbrenner; Platinlöffelchen für Chlornatrium und Chlorlithium (s. S. 251); Flasche mit Chlornatrium und Chlorlithium; ein farbiges (blaues) Glas; eine Spaltvorrichtung; eine Sammellinse; ein Prisma auf einem Tischchen; ein weiss bezogener Schirm.

Spectroskop mit gerader Durchsicht mit Vergleichsprisma; Stativ dazu; Kirchhoff-Bunsen'scher Laboratoriumsspectralapparat mit Scalenfernrohr; Unterlegklotz, welcher den Spectralapparat in die Augenhöhe bringt, mit Träger für die zur Beleuchtung der Scala dienende Lichtquelle und zwei verstellbare Träger für den Bunsenbrenner und Platindrahthalter (Fig. 151).

Bunsenbrenner und Terquembrenner; Stativ für die Reagensgläser (Fig. 152); Probirglasständer mit 12 Präparaten (s. S. 153).

Coordinatenpapier; Reissbrett; kleines Inductorium mit zwei Tauchelementen und Verbindungsdrähten; Geissler'sche Röhren mit H, Hg, N, O, CO_2, $HgCl_2$, $HgBr_2$, HgJ_2 und Stativ dazu. Halter für Metallspitzen; Leydener Flasche, Metallspitzen, Fulgurator für Flüssigkeiten; Quarzlinse, Uranglasplatte, Stativ für beide (Fig. 305); Chininschirm.

Gemische mehrerer Chloride für qualitative Analyse; Vergleichsprisma. Fortsetzung s. w. u. bei Absorptionsspectralanalyse.

I. Einleitung.

Die Spectralanalyse hat die Aufgabe einerseits zu untersuchen, in welcher Weise die Aussendung von Licht stattfindet, wie mit der Natur der leuchtenden Körper die Wellenlänge des ausgesandten Lichtes sich ändert, andererseits aber zu bestimmen, ob Lichtstrahlen von den Körpern absorbirt werden und wie die Wellenlänge und die Menge des absorbirten Lichtes von verschiedenen Umständen bedingt ist.

Das Wesen der angewandten Methoden beruht allgemein darauf, dass die in einem Lichtstrahle enthaltenen, über einander gelagerten Lichtbewegungen neben einander ausgebreitet werden.

Lassen wir z. B. ein schmales Bündel weissen Lichtes auf ein Prisma fallen und stellen hinter dasselbe einen weissen Schirm, so erblicken wir ein continuirliches Farbenband, ein Spectrum. In demselben sind unendlich viele verschiedenartige Strahlen enthalten, von denen jeder einer bestimmten Wellenlänge entspricht; da diese an zwei an einander stossenden Stellen sich um unendlich wenig von einander unterscheiden, so entsprechen die betreffenden Strahlen unendlich wenig von einander ver-

schiedenen Wellenlängen. Je grösser „die Dispersion des Prismas“ ist, um so weiter rücken die einzelnen Theile des Spectrums auseinander, um so länger wird das Spectrum.

Das Spectrum des Lichtes, das irgend ein leuchtender Körper aussendet, nennen wir sein Emissionsspectrum; lassen wir dagegen das von einem weissglühenden Körper ausgesandte Licht durch einen Körper hindurchgehen, so nennen wir das Spectrum des hindurchgegangenen Lichtes das Absorptionsspectrum des letzteren; in diesem fehlen dann die Strahlen, die der Körper absorbirt oder diese sind doch geschwächt.

Da die verschiedenen Körper sowohl verschiedene Emissions- als auch Absorptionsspectra zeigen, so können wir dieselben zur Unterscheidung der Substanzen verwenden und sprechen daher von einer Spectralanalyse.

II. Lichtquellen.

Die zur Verwendung kommenden Lichtquellen sind folgende:

1) Die Sonne, Drummond'sches Kalklicht, das elektrische Licht, die leuchtende Gasflamme, alle senden weisses Licht aus. Wir werden fast nur die Gasflamme verwenden.

Fig. 149.

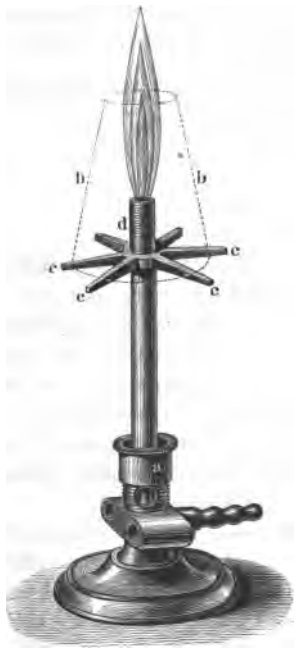
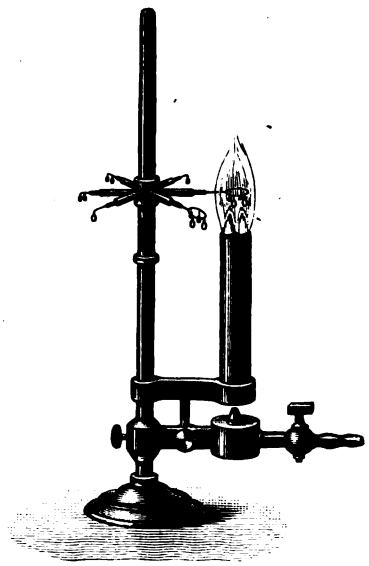


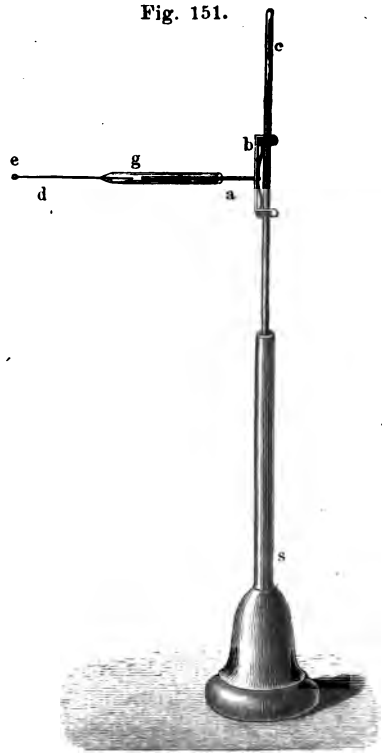
Fig. 150.



2) Die in dem Bunsen- (Fig. 149) resp. Terquembrenner (Fig. 150) zum Leuchten gebrachten Dämpfe fester oder flüssiger Substanzen.

Von dem Bunsenbrenner unterscheidet sich der Terquembrenner dadurch, dass er eine weitere Röhre hat als der erstere und in Folge dessen einen stärkeren Luftzutritt gestattet; die Röhre ist, um ein Zurückschlagen der Flamme zu vermeiden, an ihrem oberen Ende durch ein in das Innere der Röhre gesetztes Blechkreuz in vier Theile getheilt. Durch Heben oder Senken des Schlotes regulirt man den Luftzutritt und damit die Flammentemperatur. Die Flamme ist am heissesten unmittelbar über dem inneren grünlichen (viertheiligen) Kegel.

Fig. 151.



Die Substanzen werden meist an Platindrähten in die Flamme eingeführt.

Das sehr oft benutzte Chlornatrium [1]) wird z. B. an dem Ende *e* (Fig. 151) eines zu einer Oese umgebogenen Platindrahtes *d* angeschmolzen, der selbst in eine enge Glasröhre *g* eingeschmolzen ist. Man pulvert geschmolzenes Chlornatrium, das man auf einem Metallblech ausgegossen hat, befeuchtet den Draht, bringt ihn mit dem Chlornatrium in Berührung, hält ihn dann in die Flamme und schmilzt das anhaftende Salz zu einer Perle. Das Glasrohr *g* wird über den an einem Stativ *s* auf- und abschiebbaren Arm *a* geschoben. Man bringt die Perle stets in den vorderen Saum der Flamme des Bunsenbrenners.

Nicht geschmolzenes Chlornatrium zerknistert in der Flamme und fliegt von dem Platindrahte ab.

Will man längere Zeit mit demselben Salz beobachten, so bringt man dasselbe in einen durchlöcherten Platinlöffel, der von einem Platindraht getragen wird [2]).

Zum successiven Einbringen der verschiedenen Salze in den Bunsenbrenner dient uns ein Stativ, Fig. 152 (a. f. S.).

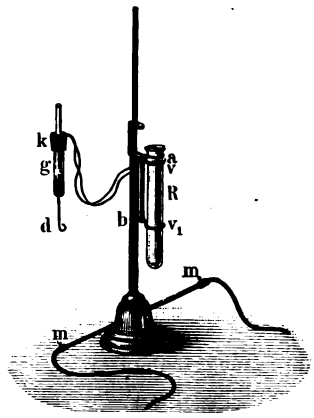
---

[1]) Nach Fleischl von Marxow soll Bromnatrium eine weit hellere Flamme geben als Chlornatrium und nicht zerspritzen.

[2]) Man stellt einen solchen Platinlöffel in folgender Weise her: In die Mitte eines rechteckigen, ca. 1 cm breiten, $1\frac{1}{2}$ cm langen Stückes von nicht zu schwachem Platinblech sticht man eine kleine Oeffnung, eine zweite in der Nähe einer kürzeren Seite des Stückes in der Mitte der Schmalseite. Durch beide Oeffnungen zieht man einen etwa 0,5 mm dicken Platindraht und bringt das Blech an dem Drahte in der Gebläseflamme zur Weissgluth. Dann ver-

Die Salze sind in kleinen Reagirgläsern von 10 mm Weite und 100 mm Länge enthalten, Fig. 153. Würde man denselben Draht in die verschiedenen Gläser nach einander stecken, so würde man ganz unreine Resultate erhalten. Um dies sicher zu vermeiden, sind die Gläser am oberen Ende bei *a* aufgewulstet und ein Bindfaden *b* herumgebunden, der dann mit seinem anderen Ende an einem Kork befestigt ist, welcher in das Reagirglas hineinpasst und durch den das den Draht *d* tragende Glasrohr *g* hindurchgeht.

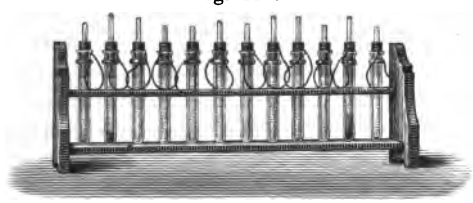
Fig. 152.



An dem Stativ sind zwei Ringe v, v_1 angebracht, in die das Reagirglas mit der zu untersuchenden Substanz eingesetzt wird. Auf diese Weise bleiben Draht und Reagirglas stets zusammen. Weiter schiebt sich über *b* eine der Vorrichtung *a b g* von Fig. 151 ganz gleiche.

Da die meisten Substanzen sich schnell verflüchtigen, so ist auf dem Brette, auf welches der Bunsenbrenner bei dem Versuche gestellt wird, ein Nagel eingeschlagen, der in ein in den Fuss *f* gebohrtes Loch hineinpasst.

Fig. 153.



An *f* sind ferner zwei Arme *m m* angesetzt, die mit Schnüren verbunden sind, welche bis zum Beobachter hinführen. Mittelst derselben kann man den Fuss drehen und damit den Draht in die Flamme, die vor dem Spalt steht, hinein- oder aus derselben herausbringen. Ein zweiter als Anschlag dienender Nagel verhindert, sobald das erstere der Fall ist, jede weitere Drehung.

3) Die Geissler'schen Röhren haben folgende Construction. Zwischen zwei weite Röhren a_1 und b_1, Fig. 154, ist ein Capillarrohr eingesetzt; in die Enden der weiten Röhren sind luftdicht Platindrähte *a*, *b* (die Elektroden) eingeschmolzen, welche zweckmässig an ihren Enden im Inneren der Röhren Aluminiumdrähte tragen. Ueber die nach aussen gehenden Enden der Platindrähte sind Messingkappen gekittet. Die Röhren sind mit einem verdünnten Gase (1 bis 5 mm Druck) gefüllt. Die Elektroden werden mit

---

nietet man beide durch einige Hammerschläge auf einem neben der Flamme stehenden kleinen Ambos. Der Platindraht wird bis auf circa 5 cm abgeschnitten und am freien Ende in ein kurzes Stück Glasrohr eingeschmolzen. Nachher durchlöchert man das Blech und biegt es an den Rändern etwas um, so dass ein flaches Löffelchen entsteht.

den Polen einer Elektrisirmaschine oder eines Inductoriums verbunden. Die mit dem positiven Pol verbundene heisst Anode, die mit dem negativen Pol verbundene Kathode. Beim Inductorium kommt wesentlich nur der Oeffnungsfunke (s. w. u.) in Betracht.

4) Der Fulgurator. Zur Untersuchung von Salzlösungen unter dem Einfluss elektrischer Entladungen wendet man Reagensgläser *A* von der Form der Fig. 155 an.

In dieselben ist unten bei *f* ein Platindraht eingeschmolzen, der mit dem einen Pol eines Inductionsapparates in Verbindung gesetzt wird.

Fig. 154.

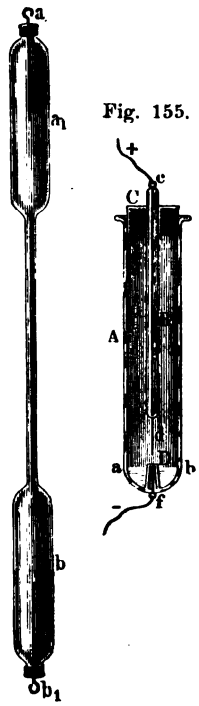


Fig. 155.

Ueber *f* ist das kleine conische Glasröhrchen *D* geschoben. Es wird nur so viel Salzlösung eingegossen, dass sie durch die in *D* wirkenden Capillarkräfte von ihrer Oberfläche *a b* bis zur Spitze von *D* emporgehoben wird. Der unteren Platinspitze stehen Platindrähte gegenüber, welche bis auf ihr unteres freies Ende *d* in eine Glasröhre *B* eingeschmolzen mit demselben in den Kork *c* gesteckt und welche mit dem anderen Pole des Inductionsapparates in Verbindung steht.

5) Um die Spectra von Metallen zu untersuchen, lässt man einen elektrischen Funken zwischen Spitzen aus dem betreffenden Metalle überspringen. Man bedient sich dabei der Anordnung Fig. 156 (a. f. S.).

Die Metallspitzen *E* und *E'* werden in dem Halter *H* von Hartgummi befestigt und mittelst der Klemmschrauben *M* und *M'* durch Kupferdrähte *MK* und *M'K'*, welche mit Kautschuk überzogen sind, mit der inneren und äusseren Belegung der Leydener Flasche *L* verbunden. Die Flasche wird durch das Inductorium *I* geladen, und zwar ist die äussere Belegung der Flasche direct durch den Draht *K'p'* mit dem einen Pol des Inductoriums verbunden. Der andere Pol ist mit der isolirt aufgestellten Spitze *T* leitend verbunden. Von dieser springen Funken auf die mit dem inneren Beleg verbundene Platte *P* über.

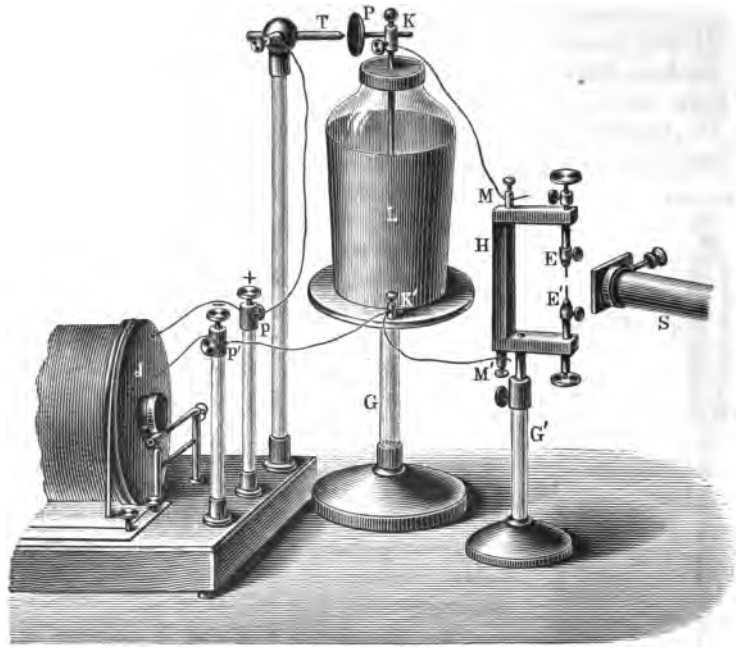
Ehe man nach dem Gebrauch des Apparates neue Metallspitzen bei *E* und *E'* einsetzt, ist die Flasche durch Zusammenschieben der Spitzen bis zur Berührung oder mittelst eines Entladers zu entladen.

III. Vorübung: Entwerfen eines Spectrums.

Uebung. I. Eine Gaslampe wird so vor den vertical stehenden Spalt *A* (Fig. 157 a. f. S.) gestellt, dass der hellste Theil der Flamme sich

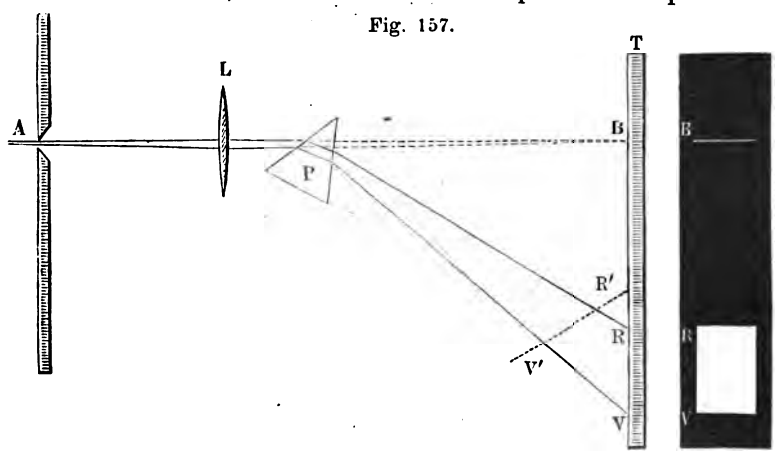
etwa vor der Mitte des Spaltes befindet. Hierauf wird der Schirm T dem Spalte A in einiger Entfernung gegenübergestellt und durch die Linse L

Fig. 156.



ein scharfes Bild desselben auf dem Schirme entworfen. Bringt man hierauf das Prisma P, dessen brechende Kante parallel zur Spaltrichtung

Fig. 157.



steht, in den Gang der Strahlen, so werden dieselben nach R hin abgelenkt, zugleich aber wird das weisse Licht der Lampe in seine farbigen

Bestandtheile zerlegt. Das auftretende Band ist das Spectrum des weissen Lampenlichts.

Um das Spectrum deutlich zu erhalten, dreht man das Prisma um seine Kante, bis die Ablenkung der Strahlen von der ursprünglichen Richtung ein Minimum ist, vergl. oben S. 252. Ausserdem stellt man den Schirm so (entsprechend der Linie R' V' der Figur), dass alle Theile des Spectrums gleich scharf erscheinen, was man am besten nach dem Aussehen der oberen und unteren Kante beurtheilen kann; dazu muss der Schirm schräg gegen die ankommenden Strahlen stehen, und zwar in den blauen Theilen des Spectrums erheblich näher dem Prisma als in den rothen (in Folge der chromatischen Abweichung der benutzten Linse, s. u. „Linsen").

An dem so erhaltenen Spectrum ist auf Folgendes zu achten:

1. Das weisse Licht besteht aus den Farben (Regenbogenfarben): Roth (R'), Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett (V') (Fig. 128), die hier wie im Regenbogen angeordnet sind. Das Roth (R') ist am wenigsten abgelenkt, das Violett (V') am stärksten.

2. Die weiss glühenden Kohlentheilchen des Gaslichtes liefern eine ununterbrochene, durch stetige Uebergänge mit einander verbundene Farbenfolge: continuirliches Spectrum.

3. Je enger der Spalt gemacht wird, um so reiner wird das Spectrum, um so deutlicher treten die einzelnen Farben hervor, es wird aber auch um so lichtschwächer.

4. Bei engem Spalte verdecken häufig kleine Staubpartikelchen Theile des Spaltes, dieselben erzeugen im Spectrum horizontale dunkle Linien. Man überzeugt sich davon, indem man einen schmalen Gegenstand, etwa ein Streichholz, quer über den Spalt hält.

5. Die Spaltbilder erstrecken sich nicht geradlinig von oben nach unten, sondern sind gekrümmt, die mittleren Theile sind weniger abgelenkt als die oberen und unteren; daher ist das Spectrum auch nicht an seinen Grenzen im Roth und Violett durch gerade Linien begrenzt.

II. Man setzt an Stelle der Gasflamme die nicht leuchtende Flamme des Bunsen'schen Brenners und bringt etwas Chlornatrium oder Chlorlithium hinein. Man erhält Spectra, die nur aus einzelnen isolirten Linien bestehen: im ersten Falle aus einer intensiv gelben, im zweiten aus einer intensiv rothen. Die Metalldämpfe, welche jetzt das Licht liefern, geben also Linienspectra, discontinuirliche Spectra.

Die bisher betrachteten Spectra waren Emissionsspectra.

III. Man stellt wieder die Gaslampe vor den Spalt und entwirft ein continuirliches Spectrum auf dem Schirm. Bringt man jetzt ein violettes Glas zwischen Lampe und Spalt, so treten dunkle Streifen in dem Spectrum auf; das Glas lässt Strahlen gewisser Brechbarkeit nicht in demselben Maasse hindurch, wie die anderen, es „absorbirt" diese Strahlen.

Das erhaltene Spectrum ist ein Absorptionsspectrum.

IV. Die Spectralapparate.

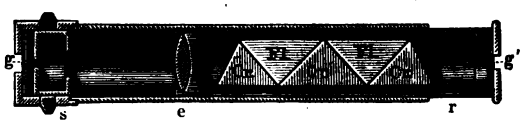
Man unterscheidet Spectralapparate mit gerader Durchsicht und solche mit Ablenkung.

I. Spectroskope mit gerader Durchsicht (Spectroskope à vision directe). Beschreibung und Justirung.

Bei diesen erfährt ein Strahl aus den mittleren Theilen des Spectrums keine Ablenkung, während die rothen und blauen nach entgegengesetzten Seiten abgelenkt werden. In ihrer einfachsten Form können diese Spectroskope nicht zu Messungen verwendet werden, sondern nur zu Beobachtungen und eventuell zu Vergleichungen, falls man vor die eine Spalthälfte ein Vergleichsprisma (s. w. u.) bringt.

Diese Spectroskope bestehen aus einer Messingröhre, in welche bei g (Fig. 158) ein Spalt eingesetzt ist; die von diesem kommenden Strahlen

Fig. 158.



gehen durch eine Linse e; die Prismencombination CrFl (Crown-Flintglas) zerlegt die Strahlen in ihre Bestandtheile. Das hinter g' befindliche Auge sieht das Spectrum. Die Verengerung und Verbreiterung des Spaltes wird nicht durch eine seitliche Schraube, sondern durch eine Kreisschraube s bewirkt.

Die Einstellung geschieht dadurch, dass man den Apparat gegen den Himmel richtet und das Rohr r so lange verschiebt, bis man die in dem Spectrum auftretenden dunklen Linien, die Fraunhofer'schen Linien (Fig. 128), scharf sieht.

II. Spectralapparat mit Ablenkung nach Bunsen und Kirchhoff (Fig. 159 bis 161).

a) Beschreibung.

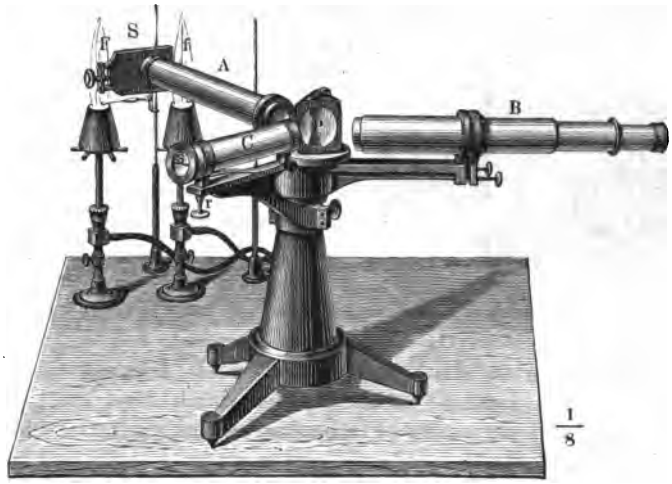
Dieser Spectralapparat hat folgende Bestandtheile:

1. Das Collimatorfernrohr: Die Strahlen, welche durch den in der Platte f (Fig. 159 bis 161) angebrachten Spalt S gehen, durchsetzen das Rohr A und werden durch die Linse α (Fig. 160) parallel gemacht; die Linse α ist so aufgestellt, dass sich der Spalt S in ihrem Brennpunkte befindet. Ueber die Mitte des Spaltes ist horizontal ein dünnerer Platindraht gespannt.

Vor der einen, etwa der unteren Hälfte des Spaltes kann ein Vergleichsprisma ab (Fig. 161) angebracht werden, durch das man vermöge der totalen Reflexion von der Seite Licht einfallen lässt, während durch die andere Hälfte das Licht direct hindurchgeht.

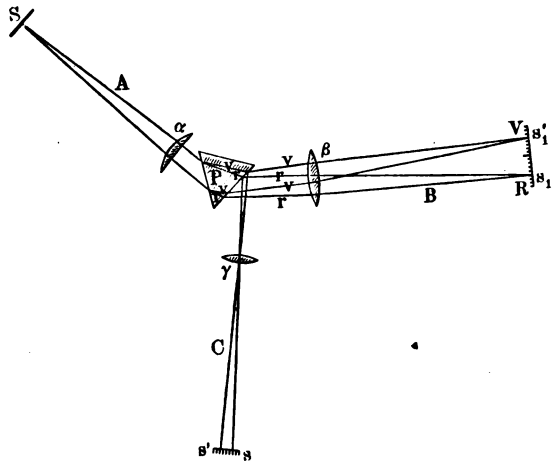
2. Die aus α austretenden Strahlen fallen auf die Vorderfläche des Prismas *P*. Dabei wird jeder derselben in seine Bestandtheile roth

Fig. 159.



bis violett, *r* und *v*, zerlegt, durch das Prisma geht also eine Schaar von Strahlen; die einer jeden Farbe zugehörigen laufen unter sich parallel,

Fig. 160.

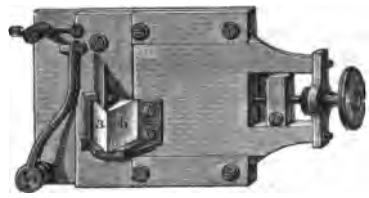


die verschiedenen Farben zugehörigen Bündel sind aber verschieden stark abgelenkt.

An der zweiten Fläche des Prismas erfahren diese Strahlen eine zweite Brechung, und es tritt demnach aus derselben wieder eine Reihe paralleler, verschieden gerichteter und gefärbter Strahlenbündel aus.

3. Das Beobachtungsfernrohr B nimmt mit seiner Objectivlinse β diese Bündel auf und vereinigt jedes derselben zu einem Spaltbilde in seiner Brennebene. In dieser liegen die verschiedenen Farben neben einander; das Roth zunächst der brechenden Kante, das Violett am weitesten von derselben ab. Das Spectrum wird mittelst einer Lupe, dem sogenannten Ocular, betrachtet.

Fig. 161.



Um die Lage der einzelnen Theile des Spectrums festzulegen, dient das in der Brennebene der Linse β angebrachte Fadenkreuz.

4. Das Scalenfernrohr C dient dazu, die Lage der verschiedenen im Spectrum auftretenden Erscheinungen zu bestimmen. Eine Gasflamme beleuchtet die auf Glas photographirte Scala ss', die aus hellen Strichen mit Ziffern auf dunklem Grunde besteht. Die von einem jeden dieser Striche ausgehenden Strahlen werden durch die Linse c parallel gemacht, dann von der zweiten Fläche des Prismas nach dem Objectiv β des Beobachtungsfernrohres reflectirt und von diesem zu einem scharfen Bilde in der Brennebene vereint, und zwar so, dass sich entsprechen die Striche s der Scala und s_1 des Bildes und s' der Scala und s_1' des Bildes. Das durch das Ocular blickende Auge sieht also eine über das Spectrum hingelagerte helle Scala. Die Lage der einzelnen Theile des Spectrums wird nach den Scalentheilen, auf welche sie fallen, bestimmt.

Fremdes Licht wird durch eine über das Prisma gesetzte Kappe aus Pappe abgehalten.

Um diesen Spectralapparat zu benutzen und die mit ihm erhaltenen Resultate allgemein verwendbar zu machen, muss derselbe justirt werden und die Angaben der willkürlichen Scala auf Wellenlängen reducirt werden.

b) Justirung des Spectralapparates.

Uebung. 1) Das Beobachtungsfernrohr, das Collimator- und das Scalenfernrohr müssen auf Unendlich eingestellt werden.

Zu diesem Zwecke schraubt man das Beobachtungsfernrohr B aus seiner Fassung, stellt das Ocular so, dass man das Fadenkreuz scharf sieht, richtet B bei geöffnetem Fenster nach einem entfernten Gegenstande (Kirchthurmspitze, Blitzableiter oder dergl.) und verstellt das Ocular mit dem Fadenkreuz gegenüber dem Objectiv so lange, bis man den Gegenstand scharf sieht (vergl. auch S. 256). Man wird sich nach einmaliger sorgfältiger Einstellung zweckmässig auf dem Rohr B eine Marke machen, welche die Einstellung desselben auf Unendlich bezeichnet.

2) Man schraubt B wieder an, stellt vor den Spalt eine Gasflamme, nimmt das Prisma P fort und stellt B dem Collimatorfernrohr gerade gegenüber.

Dann verstellt man den den Spalt tragenden Auszug so lange, bis der Spalt und das Fadenkreuz gleichzeitig scharf sichtbar sind, oder besser, bis bei einer Verschiebung des Auges vor dem Ocular Fadenkreuz und Spaltbild ihre gegenseitige Lage nicht ändern. Dann hebt oder senkt man das Beobachtungsfernrohr, bis die Mitte des Spaltes (der Draht) mit der Mitte des Fadenkreuzes des Beobachtungsfernrohres zusammenfällt.

3) Man setzt das Prisma wieder auf, sucht mit dem Auge das Spectrum, beleuchtet die Scala und dreht das Scalenrohr unter Nachrücken der Beleuchtungslampe so lange, bis man das Bild der Scala über das Spectrum gelagert sieht. Man nimmt das Auge fort und dreht das Beobachtungsfernrohr, bis man das Spectrum erblickt, zieht das Rohr mit der Scala so lange aus, bis die Striche ganz scharf erscheinen, und senkt oder hebt die Scala mit der Schraube *r* (Fig. 159), bis das Bild in der Mitte des Spectrums gelegen ist. Endlich dreht man den die Scala haltenden Auszug des Scalenfernrohres um seine horizontale Axe, bis die Scala horizontal erscheint und ihre Striche bei Beleuchtung des Spaltes mit einer Natriumflamme der auftretenden hellen, gelben Linie parallel sind.

4) Eigentlich müsste auch die Kante des Prismas parallel zur Drehungsaxe gestellt werden und die Axen der Beobachtungsfernrohre senkrecht zu derselben; dies ist indess bei den Laboratoriumsapparaten bereits vom Mechaniker durch richtige Stellung des Tisches und des Collimatorfernrohrs in hinlänglich genauer Weise ausgeführt.

Die anzustellenden Versuche zerfallen in drei Gruppen; erstens in quantitative, bestehend in dem Aichen des Spectralapparates und in dem Bestimmen einiger Wellenlängen mittelst der geaichten Scala; zweitens in qualitative, bestehend in einem Betrachten der Spectra, und drittens in wirklichen analytischen Uebungen.

V. Aichen der Scala und Bestimmung der Wellenlänge der Linien des Wasserstoffs.

a) Aichen der Scala.

Einleitung. Hat man für einen bestimmten Spectralapparat die Lagen der Linien der Emissionsspectra bei verschiedenen Metallen auf der Scala bestimmt, so ist es dadurch noch nicht möglich, dieselben bei Beobachtungen an anderen Apparaten mit Sicherheit zu identificiren, selbst dann nicht, wenn man stets eine bestimmte Linie, etwa die gelbe Natriumlinie, auf denselben Theilstrich der Scala, z. B. 50, bringt.

Man könnte denken, dass die Beobachtungen an verschiedenen Apparaten sich durch Messungen an zwei Linien sehr leicht auf einander reduciren lassen müssten, waren z. B. bei dem einen Apparat die Lithiumlinie auf 40, die Natriumlinie auf 50 gelegen, bei einem zweiten auf 20 und 50, so liegen sie in dem zweiten Apparat dreimal so weit aus-

einander, als in dem ersten; man könnte nun vermuthen, dass eine Linie, die in dem ersten bei $50 + x$ gelegen ist, bei dem zweiten bei $50 + 3.x$ liegen müsste; dem ist aber nicht so, da die Dispersion bei den verschiedenen Apparaten von Stelle zu Stelle des Spectrums sich ändert.

Die einzig richtige Charakterisirung eines Strahles erhalten wir durch Angabe seiner Wellenlänge λ, bezw. der ihr entsprechenden Schwingungsdauer oder Schwingungszahl. Wir finden dieselben aus Messungen an der Scala auf folgende Weise durch graphische Interpolation.

Uebung. 1) Wir nehmen Coordinatenpapier. Die horizontale Abscissenaxe versehen wir mit Ziffern, welche den Scalentheilen, die verticale Ordinatenaxe mit solchen, welche den in Milliontel Millimetern ($\mu\mu$) ausgedrückten Wellenlängen (λ) entsprechen. Die letztere Bezifferung beginnt an der Abscissenaxe mit $\lambda = 400$ und reicht bis circa $\lambda = 800$. Zweckmässige Dimensionen hat das von uns benutzte, im Beispiel beschriebene Coordinatenpapier.

2) Man bringt in den Bunsenbrenner Chlornatrium, dreht das Scalenrohr so lange, bis die auftretende gelbe Na-Linie auf 50 steht[1]) und schraubt das Scalenfernrohr in dieser Stellung fest; dasselbe hat stets dieselbe Lage gegenüber dem Prisma, daher bleiben die Coincidenzen der einzelnen Spectrallinien mit bestimmten Scalentheilen auch erhalten, wenn man das Beobachtungsfernrohr dreht. Man überzeugt sich davon durch Drehen des Beobachtungsfernrohres; die Na-Linie und der Scalentheil 50 bleiben stets zusammen.

Auf der dem Punkte 50 der Abscissenaxe entsprechenden Ordinate bezeichnen wir den Punkt, welcher der Wellenlänge $\lambda = 589$ entspricht; dazu suchen wir auf der Ordinatenaxe den Punkt 589 und gehen auf der durch ihn gelegten Horizontallinie fort, bis wir die durch den Punkt 50 gehende Verticale treffen.

3) Man bringt in gleicher Weise andere Salze (s. folgende Tabelle) in die Flamme, welche Linien von bekannter Wellenlänge liefern, bestimmt die Lage (a) derselben auf der Scala und bezeichnet auf der dem Punkte a entsprechenden Ordinate die ihnen zukommenden Wellenlängen λ.

Bei schwachen Linien stellt man das Beobachtungsfernrohr so, dass dieselben in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheinen und absorbirt eventuell durch vor den Spalt gesetzte absorbirende Medien die anderen Farben des Spectrums.

---

[1]) Bei den am meisten verbreiteten kleineren Laboratoriumsspectralapparaten ist die Scala gewöhnlich so eingerichtet, dass sie sehr nahe der von Kirchhoff und Bunsen bei ihrer Darstellung der Emissionsspectren benutzten entspricht und die Natriumlinie am besten auf 50 gelegt wird. Indess kann man auch jeden anderen Scalentheil zur Coincidenz mit der Natriumlinie bringen, nur muss man die Scala so legen, dass man sie in allen Theilen des Spectrums benutzen kann. Die Scalenlage ist von Zeit zu Zeit, am besten mittelst der gelben Natriumlinie, zu controliren.

Beleuchtet man dauernd die Scala, so ist das Licht derselben oft zu stark, als dass man die Linien sehen könnte; dann nimmt man die Beleuchtungslampe fort, stellt das Fadenkreuz auf die Linie ein, beleuchtet dann wieder und liest die Lage des Fadenkreuzes ab, seine Lage entspricht genau derjenigen der zu messenden Linie.

Benutzt werden folgende Substanzen mit den Wellenlängen:

Kaliumchlorid	rothe Linie	$K\alpha$	$\lambda = 770$	Natriumchlorid, gelbe	Na $\lambda = 589$
	blaue „	$K\beta$	404	Thalliumchlorid, grüne	Tl 535
Lithiumchlorid	rothe „	$Li\alpha$	670,5	Strontiumchlorid, blaue [1])	Sr 461

4) Durch alle die erhaltenen Punkte legt man aus freier Hand nach dem Augenmaass eine Curve. Auf dieser Curve bestimmt man die Wellenlänge, welche einem Scalentheile entspricht, indem man die Ordinate aufsucht, welche ihm auf der Curve zukommt.

Beispiel: Das von uns benutzte Coordinatenpapier ist 250 mm lang und 210 mm hoch. Die Abscissenaxe ist in 90 Theile getheilt; die jedem fünften entsprechende Linie ist stark ausgezogen und trägt der Reihe nach die Zahlen 0, 10 . . . 180. Die Ordinatenaxe ist in 80 Theile getheilt, von denen jeder zweite mit Ziffern versehen ist von 380, 390 . . . 780. Die den Theilen 400, 450, 500 . . . entsprechenden Linien sind stärker ausgezogen. Bei unserem Papier entsprechen z. B. die folgenden Ablesungen a an der Scala den oben erwähnten einzelnen Wellenlängen λ in $\mu\mu$.

	Ka	$K\beta$	$Li\alpha$	Na	Tl	Sr_β
a	17	159	32	50	68	108
λ	770	404	670,5	589	535	461

Nach diesen Angaben ist die Curve gezeichnet, welche auf Tafel I (S. 303) von links oben nach rechts unten durch die Punkte Ka, $Li\alpha$, $H\alpha$, Na, Tl, $H\beta$, Sr_β, Jn, $K\beta$ geht.

b) Ermittelung der Wellenlänge des Wasserstoffspectrums aus Ablesungen an der Scala.

Uebung. Um das Wasserstoffspectrum zu erzeugen, dient eine mit Wasserstoff gefüllte Geissler'sche Röhre.

Die Enden der Kappen werden mit den Polen eines kleinen Inductoriums verbunden. Von den Polen einer Batterie von zwei bis drei Chromsäuretauchelementen (vgl. w. u.) führen Drähte zu den Klemmschrauben des Commutators. Man taucht die Zinkplatte ein, schliesst den Commutator, schlägt an den Neef'schen Hammer, so dass dieser zu schwingen beginnt, dann sieht man den Wasserstoff im Rohr roth leuchten. (Die zu den Elektroden führenden Drähte sind bei geschlossenem Strome nicht zu berühren, da man sonst elektrische Schläge erhält; gleich nach der Beobachtung ist die Zinkplatte aus der Säure herauszuziehen.)

[1]) Die im Gelb und Roth gelegenen Linien dieses Salzes werden hier nicht benutzt.

Man stellt die Geissler'sche Röhre vor den Spalt, dann sieht man drei Linien: eine rothe α, eine blaugrüne β, eine violette γ. Ihre in der für schwache Linien angegebenen Weise bestimmten Lagen seien auf der Scala s_α, s_β, s_γ.

Die s_α, s_β, s_γ entsprechenden Wellenlängen lese man nun an der Curve ab (S. 303).

Es ist: $s_\alpha = 33{,}5$; $\lambda = 656\,\mu\mu$. $s_\beta = 92$; $\lambda = 486\,\mu\mu$. $s_\gamma = 128$; $\lambda = 434\,\mu\mu$ (vgl. Tafel I, 4, S. 303).

VI. Emissionsspectra.

Einleitung. Ehe wir zu den Beobachtungen der Spectra selbst übergehen, schicken wir einige allgemeine Bemerkungen über diejenigen Punkte voraus, die bei denselben zu beachten sind.

Man unterscheidet drei Arten von Emissionsspectren.

1. Das continuirliche Spectrum. Dies ist ein Spectrum, das sich über einen gewissen Bereich erstreckt, ohne in einzelne Linien zu zerfallen. Dabei braucht es nicht alle Farben zu umfassen.

2. Banden- oder cannelirte Spectra. Die cannelirten oder Bandenspectra zeigen bei schwacher Dispersion breitere helle Theile des Spectrums, die sogen. Banden meist mit einer scharfen Begrenzung an der einen, mit einer verwaschenen an der anderen Seite, manchmal sind auch beide Seiten verwaschen, z. B. bei Strontiumchlorid. Bei einseitiger, scharfer Begrenzung liegt diese bald nach dem Infraroth, bald nach dem Ultraviolett hin. Stärkere Dispersion zeigt, dass oft die Banden aus einer Reihe von Linien von nahezu gleicher Intensität bestehen, die nach dem scharfen helleren Rande immer näher zusammenrücken und dort nicht mehr von einander getrennt werden können (vergl. das Spectrum des Bunsen'schen Brenners S. 301). Indess kennen wir auch Banden, die keine Auflösung in Linien gestatten.

3. Linienspectra. Dieselben bestehen aus einzelnen, mehr oder weniger scharfen Linien, die durch dunkle Zwischenräume getrennt sind, oder sich von einem schwach erhellten Hintergrunde abheben.

Führen wir die Spectra zurück auf Bewegungen, welche von den Molecülen resp. den Atomen des Körpers ausgehen, so muss die Natur der Schwingungen, ihre Intensität, von dem Bau der Molecüle und den Kräften abhängen, welche zwischen den in ihnen enthaltenen Atomen wirken.

Wir schreiben die Linienspectra den einzelnen Atomen, die Bandenspectra den Molecülen zu.

Jeder chemisch definirte Körper, jede Verbindung hat daher ihr eigenes Spectrum, ihr Verbindungsspectrum. Dieses Spectrum lässt sich natürlich nur dann beobachten, wenn die Verbindung bei der Tempe-

ratur, bei der eine Lichtemission stattfindet, noch existirt, resp. nicht durch chemische Processe, wie sie sich z. B. in der Flamme abspielen, in die Atome zerlegt wird.

Ein Beispiel für die Verbindungsspectra liefern die Verbindungen $SrCl_2$, $SrBr_2$, SrJ_2, welche mit dem Fulgurator in einer Wasserstoffatmosphäre und in der Bunsen'schen Flamme unter Beimischung von HCl, HBr, HJ zu den Gasen derselben oder bei Abkühlung derselben durch Einbringen von Ammoniumacetat neben den Salzen erhalten werden. Diese Spectra sind unter einander verschieden, es sind Verbindungsspectra. In einer gewöhnlichen Bunsen'schen Flamme erhitzt, liefern sie stets dasselbe Spectrum, das von SrO.

Der Charakter der Spectra ändert sich mit dem Aggregatzustande. Bei den festen und flüssigen Körpern sind die Emissionsspectra fast stets continuirlich, während bei den Gasen Banden- oder Linienspectra auftreten.

Continuirliche Spectra, die aber nur einzelne Theile des Spectrums umfassen, zeigen die festen und flüssigen Körper, wenn sie fluoresciren oder phosphoresciren.

a) Emissionsspectra, die im Bunsen- bezw. Terquembrenner erhalten werden.

Uebungen. Die Spectra der im Folgenden mit ihren Linien etc. aufgeführten Metalle werden im Spectralapparat betrachtet und mit der Beschreibung verglichen, die den einzelnen Linien zukommenden Scalentheile abgelesen und die Spectra gezeichnet. Man nimmt dazu das Coordinatenpapier, in welches die Curve eingetragen ist, welche die Abhängigkeiten von Wellenlänge und Scalentheil darstellt, zieht eine Reihe von starken horizontalen Linien (bei unserem Papier sind die bei 400, 450 . . . von vornherein stärker ausgezogen) und theilt dadurch die ganze Fläche in eine Reihe von Streifen, von denen ein jeder für das Spectrum eines Metalles bestimmt ist. Die Einzeichnung geschieht in zweierlei Art.

a) Man zeichnet in die obere Hälfte des Streifens die hellen Linien mit schwarzen Strichen da ein, wo die ihnen entsprechenden Scalentheile liegen; hellere Linien werden sehr schwarz gezeichnet, breite Banden schraffirt und durch den Abfall der Schraffirung auch der Abfall der Helligkeit angedeutet.

b) Man stellt die Helligkeitsvertheilung im Spectrum durch eine Curve dar. Den grösseren Intensitäten entsprechen grössere Ordinaten. Hierbei erscheint z. B. eine schmale Linie als sich steil erhebende Curve, die ebenso schnell wieder herabsinkt. Es sind so einige Spectra in die unteren Hälften der Streifen eingezeichnet (vergl. Tafel I, S. 303).

In dieser Weise sind einige Spectra in die Streifen der Tafel I, S. 303, eingezeichnet, verlängert man die durch die eingezeichneten Linien gehenden Verticalen, bis sie die Curve $K_\alpha Na \ldots K_\beta$ schneiden, so kann man in der oben angegebenen Weise direct die Wellenlänge derselben ablesen.

Bei den Beschreibungen ist λ die Wellenlänge, welche in Milliontel Millimetern ($\mu\mu$) ausgedrückt ist.

Die hier erwähnten Metalle werden (Apparat vergl. S. 288) als leicht flüchtige Chloride in die Flamme gebracht. Zeichnungen der Spectra finden sich auf Tafel I, S. 303.

1) Natrium. Sehr helle Linie im Gelb (α) $\lambda = 589\,\mu\mu$. Bei stärkerer Dispersion erweist sie sich als eine enge Doppellinie (D_1 und D_2 des Sonnenspectrums s. w. u.). Bei sehr grossen Dampfmengen in der Flamme umgiebt die Linie ein heller Schein im Gelb und Grün, der sich zu beiden Seiten allmählich in dem dunklen Hintergrunde verliert. (Bei sehr hohen Temperaturen gesellen sich zu der gelben Doppellinie noch andere Doppellinien im Grün etc. S. 304.)

2) Kalium. Breite Linie im äussersten Roth (α) $\lambda = 770\,\mu\mu$; zweite Linie im äussersten Violett (β) $\lambda = 404\,\mu\mu$. Dieselbe ist etwas schwer zu sehen, weil das Auge für diese äussersten Farben des Spectrums nur noch sehr wenig empfindlich ist. Zur Bestimmung der Lage verfährt man, wie oben für schwache Linien (S. 297) angegeben ist. Zwischen beiden Linien erscheint bei grösseren Dampfmengen ein heller Schimmer, welcher etwa im Grün sein Maximum hat und gegen die Enden des Spectrums allmählich schwächer wird, ohne die Linien K_α und K_β selbst zu erreichen. Sowohl in diesen wie in allen folgenden Spectren sieht man stets auch die gelbe Natriumlinie, die von unvermeidlichen Verunreinigungen der Salze mit Chlornatrium herrührt.

3) Lithium. Intensiv rothe Linie $\lambda = 670{,}5\,\mu\mu$.

4) Baryum giebt im Bunsenbrenner das Bandenspectrum des Oxydes. Dasselbe ist durch vier intensive grüne Banden ausgezeichnet, die alle gegen das rothe Ende hin scharf begrenzt erscheinen und sich nach dem violetten Ende hin allmählich abschattiren. Ausserdem zeigt sich eine sehr helle blaue Bande.

5) Strontium giebt im Wesentlichen ein Bandenspectrum mit hellen, rothen und orangefarbenen Banden, die nach beiden Seiten gleich schnell abfallen. Dem Metalle selbst, das theilweise durch Reduction der Verbindung entsteht, gehört nur die blaue Linie (δ) mit $\lambda = 461\,\mu\mu$ an.

6) Calcium. Verwaschene Banden im Gelbgrün und Grün, darunter besonders eine sehr helle, welche an beiden Seiten verwaschen ist.

7) Indium. Sehr intensive blaue Linie (α) $\lambda = 451\,\mu\mu$ und eine weniger helle Linie (β) mit $\lambda = 410\,\mu\mu$ fast am Ende des Spectrums. Durch diese beiden Linien wurde das Indium entdeckt.

8) Thallium. Sehr helle, scharfe, grüne Linie $\lambda = 535\,\mu\mu$. Durch diese Linie wurde das Thallium in dem Blei entdeckt.

9) Kupfer. Sehr charakteristisches Bandenspectrum; dasselbe ist zu betrachten bei weiterem und bei sehr engem Spalte. Bemerkenswerth sind die Banden im Roth, Grün, besonders aber im Blau [hier sehr deutlich zu sehen, dass sie gegen das violette Ende zu scharf sind; sie sind paarweise angeordnet, jedes Paar besteht aus einer helleren breiteren Bande und einer brechbareren schmäleren (Rhythmus in der Anordnung der Banden)].

10) Blei. Banden im Grün und Blau.

11) Mangan. Besonders treten zwei helle, grüne Banden hervor, in denen bei engem Spalte die ersten Linien, aus denen sie zusammengesetzt sind, deutlich hervortreten; die hellsten liegen an den dem Violett zugekehrten Enden; nach dem Roth hin folgen immer schwächer werdende Linien.

12) Magnesium. Verwaschene Bande im Grün.

13) Das Bandenspectrum der Kohle. Man stellt den Terquembrenner so vor den Spalt, dass bei reichlichem Luftzutritt der untere grüne Theil der Flamme vor der Mitte des Spaltes steht. Man erblickt im Spectralapparate das sogenannte „Swan-Spectrum", ein Bandenspectrum, welches früher Kohlenwasserstoffen zugeschrieben wurde, welches aber wahrscheinlich dem Kohlenstoffe selbst zukommt. Im Roth sieht man mehrere schwache und unbestimmt begrenzte Banden; im Grüngelb setzt die erste der charakteristischen Hauptbanden mit einer scharfen hellen Linie (ungefähr bei $\lambda = 570\ \mu\mu$) ein, der zahlreiche, immer schwächer werdende Linien in sehr nahe gleichen Abständen folgen [Spalt eng!]. Jede Linie ist auf der brechbareren Seite von einem Lichtschein begleitet, und die Linien bilden eine nach dem Roth hin scharfe, nach dem Violett hin verwaschene Bande. Ebenso ist die zweite, eine sehr helle grüne Bande, zusammengesetzt. Complicirter aufgebaut ist die dritte blaue Bande; einzelne Linien sind aber auch hier noch zu sehen. Unmittelbar auf eine schwächere indigofarbene Bande folgt nach völlig dunklem Zwischenraum die letzte violette Bande. Im Ultraviolett reiht sich an diese sichtbaren Banden noch eine ganze Schaar ähnlich gebauter unsichtbarer Banden.

Dieses Spectrum spielt bei den kosmischen Lichtquellen eine sehr grosse Rolle; es kommt den meisten Kometen zu und findet sich bei einer Reihe von Fixsternen.

b) Emissionsspectra der Gase und Dämpfe unter dem Einflusse elektrischer Entladungen.

Die Versuchsanordnung ist dieselbe wie beim Wasserstoff (S. 297).

1) Wasserstoff giebt eine intensiv rothe Linie (H_α, $\lambda = 656{,}27\ \mu\mu$, die C-Linie des Sonnenspectrums); eine grünblaue (H_β, $\lambda = 486{,}13\ \mu\mu$, die F-Linie des Sonnenspectrums); eine blaue (H_γ, $\lambda = 434{,}01$ der eine Linie in der Nähe von G im Sonnenspectrum entspricht) und eine frei-

lich nur schwer zu erkennende violette Linie (H_δ, h des Sonnenspectrums mit $\lambda = 410{,}12\ \mu\mu$). Ausserdem treten oft rothe, gelbe, grüne und blaue Linien und Banden des Spectrums auf, welche zum grossen Theile von Resten atmosphärischer Luft, welche in dem Rohre beim Auspumpen zurückgeblieben sind, herrühren, zum Theil aber auch einem unter gewissen Bedingungen in der Entladungsröhre erscheinenden Bandenspectrum des Wasserstoffs angehören.

2) Stickstoff giebt unter dem Einflusse der gewöhnlichen Entladungen ein äusserst charakteristisches Bandenspectrum. Im Roth, Orange und Gelb zeigen sich etwa gleich weit von einander entfernte, einander sehr ähnliche Banden, welche nach beiden Seiten gleichmässig an Intensität abnehmen. Im Blau und Violett tritt eine Reihe von hellen Banden auf, die alle ihre scharfe Seite dem rothen Ende des Spectrums zuwenden. Alle diese Banden lassen sich bei stärkerer Dispersion leicht in einzelne, ziemlich breite Linien auflösen.

Man stellt die Röhre so auf, dass die eine Elektrode vor dem Spalte steht und mache dieselbe durch Umlegen des Commutators bald zur positiven Elektrode (Anode), bald zur negativen Elektrode (Kathode). Ist die Elektrode positiv, so sitzt auf ihrer äussersten Spitze ein blassröthliches Lichtbüschel auf; das Spectrum desselben besteht aus denselben Banden, die auch im Lichte des Rohres auftreten, wenn auch mit etwas anderer Helligkeitsvertheilung. Wird die Elektrode zur negativen gemacht, so erscheint sie ihrer ganzen Länge nach in einen violetten Lichtmantel gehüllt, das sog. „Glimmlicht". Das Spectrum des Glimmlichtes wird vor Allem durch eine gelbgrüne, eine grüne und neben anderen schwächeren durch eine intensiv blaue Bande charakterisirt, die alle drei nach dem Roth zu scharf sind. Ist das Rohr sehr weit ausgepumpt, so leuchtet die der Kathode benachbarte Glaswand mit grünlichem Fluorescenzlicht. Bei sehr starken Entladungen, z. B. bei Einschaltung von Leydener Flaschen, verwandelt sich das Bandenspectrum des Stickstoffs in ein Linienspectrum.

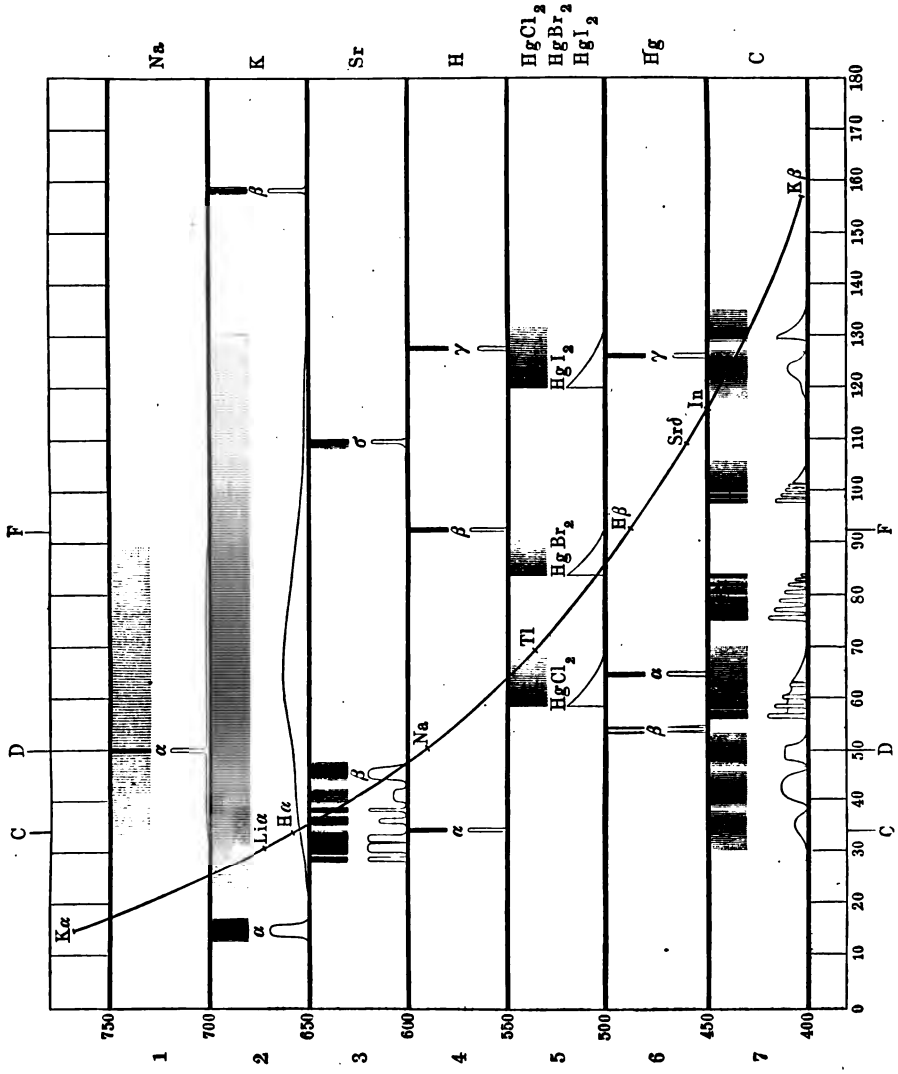
3) Sauerstoff zeigt zwei intensive rothe Linien und mehrere schwächere Banden im Grün und Blau.

4) Kohlensäure zeigt schwächere Banden im Roth und Orange, zwei sehr helle im Grün und mehrere im Grünblau und Blau, sämmtlich nach dem Roth hin scharf begrenzt.

5) Quecksilber. (Das Entladungsrohr ist etwas zu erwärmen!) Die Hauptlinie ist eine grüne (α) $\lambda = 546\ \mu\mu$. Im Gelb ist eine Linie (β) zu sehen (etwas brechbarer als die meist mit auftretende Natriumlinie, die von dem Natrium im Glase herrührt), welche sich bei aufmerksamer Betrachtung bei engem Spalte und grosser Helligkeit des Entladungsrohres als eine Doppellinie erweist. Einen ähnlichen Anblick würde die gelbe Natriumlinie bei grösserer Dispersion gewähren (s. o. S. 300). Weiter ist noch eine violette Linie γ vorhanden.

6) Die Haloidverbindungen des Quecksilbers. Zur Untersuchung derselben verwendet man etwa 14 mm weite und 15 cm lange evacuirte Spectralröhren ohne capillaren Theil, welche einige Körner der betreffenden Substanzen $HgCl_2$, $HgBr_2$ und HgJ_2 enthalten und die

Tafel I.



zu erwärmen sind. Diese Substanzen zeigen Spectra mit höchst charakteristischen Banden, die alle nach dem Roth zu scharf begrenzt sind, nach dem Violett hin dagegen allmählich an Helligkeit verlieren. Be-

sonders zu beachten ist die Lage dieser Banden (vergl. Tafel I, Nr. 5). Das Chlorid zeigt eine grüne Bande (Rand $\lambda = 564\,\mu\mu$); das Bromid eine grünblaue (Rand $\lambda = 505\,\mu\mu$); das Jodid eine indigofarbene (Rand $\lambda = 445\,\mu\mu$). Der Wellenlängenunterschied ist

$$HgCl_2 - HgBr_2 = 59\,\mu\mu.$$
$$HgBr_2 - HgJ_2 = 60\,\mu\mu.$$

Die Wellenlängen dieser Banden und damit die Schwingungszahlen der sie hervorrufenden Bewegungen stehen also mit den sich um einen nahezu constanten Betrag unterscheidenden Moleculargewichten der drei Verbindungen in naher Beziehung.

c) Funkenspectra von Salzlösungen.

Uebung 1. 1) Ein Fulgurator (S. 289, Fig. 155) wird mit einer concentrirten Lösung von Chlormagnesium bis zu der angegebenen Höhe gefüllt und so vor den Spalt gestellt, dass die Strecke zwischen den Platinspitzen etwa in der Mitte derselben steht.

2) Beim Durchgang der Entladungen sieht man die hellen Linien des Magnesiumspectrums, welches besonders durch drei dicht bei einander stehende Linien im Grün ausgezeichnet ist (die beiden nach dem Blau zu gelegenen Linien sieht man erst getrennt, wenn man den Spalt sehr eng macht). Solche Linientripel wiederholen sich mehrfach im violetten Theile des Magnesiumspectrums.

Uebung 2. Die gleiche Uebung wird mit einem zweiten Fulgurator gemacht, der eine concentrirte Chlornatriumlösung enthält. Man sieht eine enge Doppellinie im Gelb (bei sehr feinem Spalte), im Grün und Blau. In den ultravioletten Theilen des Spectrums wiederholen sich solche Linienpaare noch mehrere Male.

Das Natriumspectrum ist also durch das Auftreten von Linienpaaren ausgezeichnet, wie das Magnesiumspectrum durch Linientripel. Diese mehrfachen Wiederholungen von regelmässigen Liniengruppen deuten auf gewisse Regelmässigkeiten in der Schwingungsweise der das Licht aussendenden Molecüle oder Atome, auf „harmonische Schwingungen".

d) Funkenspectra der festen Metalle; lange und kurze Linien.

Uebung. 1) Die S. 289 unter 5) beschriebene Vorrichtung H wird mit ihrem Fusse G in ein Stativ so festgeklemmt, dass die Spitzen E und E' horizontal in der Mitte des Spaltes stehen.

2) Man lässt die Funken überspringen und entwirft mit einer Linse ein Bild auf der Spaltplatte des Spectralapparates, auf die man zunächst ein Blatt weissen Papieres hält.

In demselben entsprechen die mittleren hellsten Theile dem Inneren der Funkenbahn. Diese sieht man von einem schwächer leuchtenden

Hofe umgeben, welcher der kälteren und dampfärmeren Hülle der Funkenbahn entspricht.

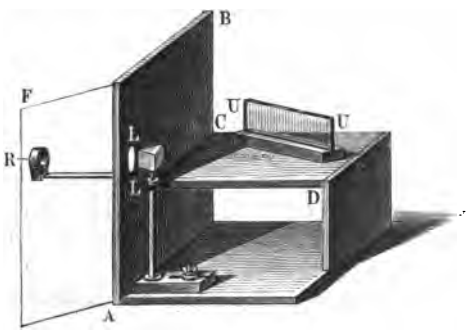
3) Im Spectroskop sieht man die hellen Linien des Metalles. Dieselben sind fast durchgängig in der Mitte breiter und spitzen sich nach beiden Enden hin zu. Dabei sind nicht alle gleich lang. Den langen Linien entsprechen augenscheinlich diejenigen Strahlen, welche von dem leuchtenden Metalldampfe auch noch bei geringeren Dampfmengen und schon bei niedrigeren Temperaturen, daher auch in der Hülle der Funkenbahn in merklichem Grade, ausgesendet werden; es sind die Hauptlinien des Metalles. Die den kurzen Linien entsprechenden Strahlen werden nur unter besonderen Umständen, bei hoher Temperatur, grosser Dampfmenge etc. ausgesendet.

4) Untersucht werden: Zn, Cd, Fe, Cu, Pb, Sn, Pt, Ag, und die dabei auftretenden drei Linien, wie oben angegeben, in die Curventafel eingezeichnet. Die allen Spectren gemeinsamen Linien rühren von der Luft her.

e) Die ultravioletten Spectra.

Uebung. 1) In den Halter H, Fig. 156 (S. 290) werden Cadmiumspitzen EE' eingesetzt. Dieselben werden vertical vor dem Ringe R, Fig. 162, so aufgestellt, dass von der in der Schirmwand AB befestigten Quarzlinse LL auf der in einiger Entfernung aufgestellten Uranglasplatte UU ein scharfes Bild entsteht.

Fig. 162.



2) Man stellt hinter die Quarzlinse LL ein Quarzprisma, fängt wie auf S. 290 das Spectrum mit der Uranglasplatte auf und stellt das Prisma auf das Minimum der Ablenkung.

3) Man schneidet die nach dem Roth hin liegende Hälfte des Spectrums mit einem Papierstreifen ab: Auf der Uranglasplatte erscheinen eine ganze Reihe von Linien, welche ausserhalb des auf dem Papierstreifen sichtbaren Spectrums liegen: ultraviolettes Spectrum.

Die ultravioletten Strahlen rufen in den Stellen des Uranglases, die sie treffen, Fluorescenz hervor und machen dieselben dadurch gewissermaassen selbstleuchtend.

Das ultraviolette Spectrum des Cadmiums ist besonders ausgezeichnet durch vier etwa gleichweit von einander abstehende Linien, ganz am Ende des Spectrums, mit Wellenlängen von 214, 219, 226 und 231 $\mu\mu$;

ferner tritt ein intensiveres Linienpaar näher dem Violett auf ($\lambda = 346$ und 340 $\mu\mu$).

4) Die Uebung wird wiederholt mit einem zur Hälfte mit einer Lösung von schwefelsaurem Chinin und etwas Gummi arabicum bestrichenen Schirm, ferner unter Anwendung der oben S. 305 genannten Metalle.

Ersetzt man die Cadmiumspitzen z. B. durch solche aus Zink, so erhält man auf der Uranglasplatte ein ultraviolettes Spectrum, in dem besonders die drei äussersten Linien von 210, 206 (eine enge Doppellinie) und 202 $\mu\mu$ Wellenlänge auffallen.

5) Man hält vor die Oeffnung bei L eine dicke Glasplatte: die äussersten ultravioletten Linien verschwinden. Das Glas absorbirt das äusserste Ultraviolett. Deshalb sind die optischen Theile des Apparates aus Quarz construirt.

6) An Stelle des Chininschirmes wird eine mit Balmain'scher Leuchtfarbe bestrichene Papptafel gesetzt: Die vom Licht getroffenen Stellen leuchten in bläulichem Lichte. Nimmt man den Schirm fort, so leuchten die erregten Theile eine Zeit lang nach; diese Erscheinung nennt man Phosphorescenz.

Alle diejenigen Leuchtprocesse, bei denen eine Lichtentwickelung stattfindet, die grösser ist als der Temperatur der leuchtenden Theile entspricht, wie bei den Erscheinungen der Fluorescenz und Phosphorescenz, bei denen der leuchtende Körper sich nicht merkbar erwärmt, ebenso die den langsamen Oxydationsprocessen analogen Erscheinungen, fasst man unter der gemeinsamen Bezeichnung „Luminescenzerscheinungen“ zusammen.

f) Verwendung der Emissionsspectra zur Analyse.

Einleitung. Verschiedene Körper geben, wie wir gesehen, verschiedene Spectra. Dass dies der Fall ist, lässt sich schon daraus schliessen, dass viele Substanzen, in die Flamme gebracht, dieselbe färben: Lithium roth, Natrium gelb, Kupfer grün etc.

Lässt sich schon die Flammenfärbung als solche zur Erkennung gewisser Stoffe verwenden, so ist dies in noch weit höherem Grade mit den Spectren der Fall. Eine der Aufgaben, mit denen sich die Begründer dieses Gebietes, Bunsen und Kirchhoff, beschäftigt hatten, war, mittelst der Spectra die Körper zu analysiren, und aus dem Auftreten von Linien im Spectrum auf das Vorhandensein bestimmter Elemente zu schliessen.

Die Reaction ist ungemein empfindlich. Es lassen sich mit dem Spectralapparate noch erkennen von

Cs	$^1/_{25000}$ g	Sr	$^1/_{30000}$ g
Rb	$^1/_{7000}$ g	Cu	$^1/_{50000}$ g
K	$^1/_{3000}$ g	Mn	$^1/_{83}$ g

Na	$^1/_{14000000}$ g	In	$^1/_{2000}$ g
Li	$^1/_{600000}$ g	Tl	$^1/_{50000}$ g
Ba	$^1/_{2000}$ g	Cu	$^1/_{285}$ g

Treten in einem Spectrum eines Körpers Linien auf, die bei keinem bekannten Elemente aufgefunden worden sind, so liegt die Vermuthung nahe, dass in dem Körper ein neues Element enthalten ist. Der Gang der Gewinnung des betreffenden Elementes lässt sich durch die Spectralanalyse controliren; man fällt etwa aus der Lösung des zu behandelnden Körpers durch ein Reagens einen Niederschlag. Das Spectroskop lässt, wenn man die eingedampfte Lösung und den Niederschlag auf ihr Emissionsspectrum untersucht, erkennen, in welchem von beiden der neue Körper vollkommen oder doch überwiegend enthalten ist.

Auf diese Weise sind entdeckt worden:

Cäsium und Rubidium von Bunsen und Kirchhoff, Thallium von Crookes und fast gleichzeitig von Lamy, Indium von Reich und Richter, Gallium von Lecoq de Boisbaudran.

Uebung 1. Der Praktikant erhält ein Gemisch von ihm unbekannter Zusammensetzung der Chloride derjenigen Metalle, welche im Bunsenbrenner ein charakteristisches Spectrum liefern (vergl. oben S. 300). Er hat aus den auftretenden Linien durch Vergleichung mit den von ihm gemachten Aufzeichnungen der wichtigsten Metalllinien zu ermitteln, welche Metalle in dem Gemische enthalten sind.

Uebung 2. Verwendung des Vergleichsprismas. Handelt es sich darum, zu constatiren, ob eine Linie einem bekannten Element zukommt oder nicht, so kann dies ohne Messung mit dem Vergleichsprisma geschehen.

1) Man stellt vor die Fläche *a* des Prismas (S. 294) und direct vor den Spalt zwei Lampen, etwa die Gaslampe und das zur Beleuchtung der Scala dienende Lämpchen. Man sieht zwei Spectren, die durch einen dunklen Strich getrennt sind. Man hält abwechselnd ein Blatt Papier vor die obere Spalthälfte und vor die Fläche *a* und sieht, dass der oberen Hälfte das untere Spectrum und umgekehrt entspricht.

2) Man stellt vor beide Spalthälften Bunsenbrenner mit Chlornatrium: die gelben Linien liegen genau in der gegenseitigen Verlängerung.

3) Nachweis, ob in einer rothen Flamme neben Strontium noch Lithium vorhanden ist oder nicht. Man bringt die zu untersuchende Substanz in die Flamme vor den Spalt, während vor dem Vergleichsprisma eine Flamme mit Chlorlithium steht.

Liegen einzelne der auftretenden Linien unmittelbar über einander, so ist Lithium vorhanden, sonst nicht.

VII. Absorptionsspectra.

Gebraucht wird: Gefärbte Streifen von Filtrirpapier; Spectroskop mit gerader Durchsicht; Gestelle mit Absorptionsröhren, welche die unten erwähnten Präparate enthalten; farbige Gläser; Uran- und Didymglas; Gaslampe mit Rundbrenner; Spectralapparat nach Kirchhoff und Bunsen, mit einem Träger für die Absorptionsröhren, ein Wassertrog und Pappschirm; Reissbrett und Curventafel.

Einleitung. Wie die Emissionsspectra für die einzelnen Körper charakteristisch sind, so sind es auch die Absorptionsspectra. Die Molecüle eines Körpers vermögen nur Schwingungen zu absorbiren, die mit denen in naher Beziehung stehen, welche sie selbst oder die in ihnen enthaltenen Atome in Folge der zwischen ihnen thätigen Kräfte ausführen. Die Beobachtung der Absorptionsspectra liefert daher bei allen Körpern, die nicht so weit erhitzt werden können, dass sie Emissionsspectra liefern, eine wichtige Ergänzung der letzteren.

Für die praktische Verwendung der Farbstoffe sind die Untersuchungen von Bedeutung, welche ersehen lassen, in welcher Weise sich die Absorption ändert, wenn man in einer gegebenen färbenden Verbindung ein Element, etwa den Wasserstoff, durch andere Elemente oder Atomgruppen ersetzt.

a) Untersuchung und Aufzeichnung der wichtigsten Absorptionsspectra.

Bei der Untersuchung der Absorptionsspectra wird das Licht untersucht, welches Schichten des betreffenden Körpers durchsetzt hat.

I. Die dabei verwandten Methoden sind im Wesentlichen zwei:

1) Man stellt in den Weg der von einer weissen Lichtquelle kommenden und auf den Spalt eines Spectralapparates fallenden Lichtstrahlen Schichten der absorbirenden Substanz.

Ist sie fest, so verwendet man Platten derselben, ist sie flüssig oder gasförmig, so bringt man sie in Glaströge, Fig. 163, oder in Glasröhren, Fig. 164 (wir haben für das Prakticum das letztere gethan und die Glasröhren oben zugeschmolzen).

Nach dieser Methode sind die in Uebung 2 s. w. u. angegebenen Versuche, falls nichts Besonderes angegeben ist, durchzuführen.

2) Man untersucht das diffus von gefärbten Pulvern reflectirte Licht. Dieses enthält einmal an der äussersten Oberfläche der einzelnen Körnchen diffus reflectirtes weisses Licht, ferner aber Licht, das in die Körnchen eingedrungen und an ihrer Rückwand zurückgeworfen ist, und das dann nach zweimaligem Durchlaufen derselben wieder in die Luft austritt. Derselbe Vorgang kann sich auch mehrfach wiederholen. In

den Körnchen werden aber die von ihnen absorbirbaren Strahlen zurückgehalten, die anderen treten wieder aus und bedingen die Körperfarben. Färben wir mit Farbstoffen Zeug oder Papier, so rührt deren Farbe her von dem Licht, das an der Grenze zwischen dem Träger des Farbstoffes und letzterem reflectirt nach zwei- oder mehrmaligem Durchlaufen desselben in das Auge gelangt, also nicht absorbirt worden ist.

Uebung 1. Streifen von Filtrirpapier, die mit Anilinfarben (Fuchsin, Malachitgrün, Anilinviolett und Blau) gefärbt sind, werden beleuchtet und einmal das von ihnen diffus reflectirte und dann das durch sie hindurchgegangene Licht mit dem Spectroskop mit gerader Durchsicht untersucht. Bei dem Malachitgrün z. B. sieht man in beiden Fällen deutlich im Spectrum das Zurücktreten, die Absorption von Roth und Blau, und das Hervortreten von Grün.

Fig. 163.

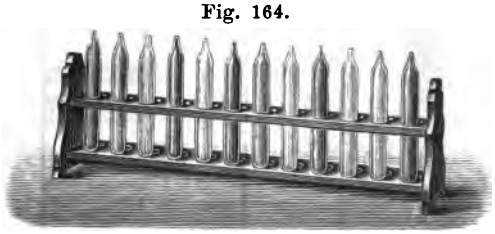
Uebung 2. Man stellt die Tröge oder Röhren, welche die unter „Beispiele" aufgeführten Substanzen enthalten, vor den Spalt, letztere so, dass die in Folge ihrer cylindrischen Gestalt entstehende Brennlinie auf denselben fällt.

Die Wärmestrahlen werden durch einen zwischengesetzten Trog voll Wasser von den Absorptionsgefässen, störendes Nebenlicht durch einen Schirm abgehalten.

Für die unten angeführten Substanzen werden mit der Scala die Lagen der dunklen Stellen, der Absorptionsstreifen, bestimmt.

Man zeichnet dieselben in die Curventafel in ähnlicher Weise ein, wie dies bei den Emissionsspectren geschehen ist, und giebt die Helligkeitsvertheilung in jedem einzelnen Streifen wieder, entweder erstens durch Schattirung oder zweitens dadurch, dass man Curven zeichnet, deren höchste Stelle der stärksten Absorption entspricht, so sind die auf Tafel II, S. 310 enthaltenen Curven gezeichnet; die Curve K_α, $Li \ldots K_\beta$ ist die S. 297 und 299 erwähnte.

Fig. 164.

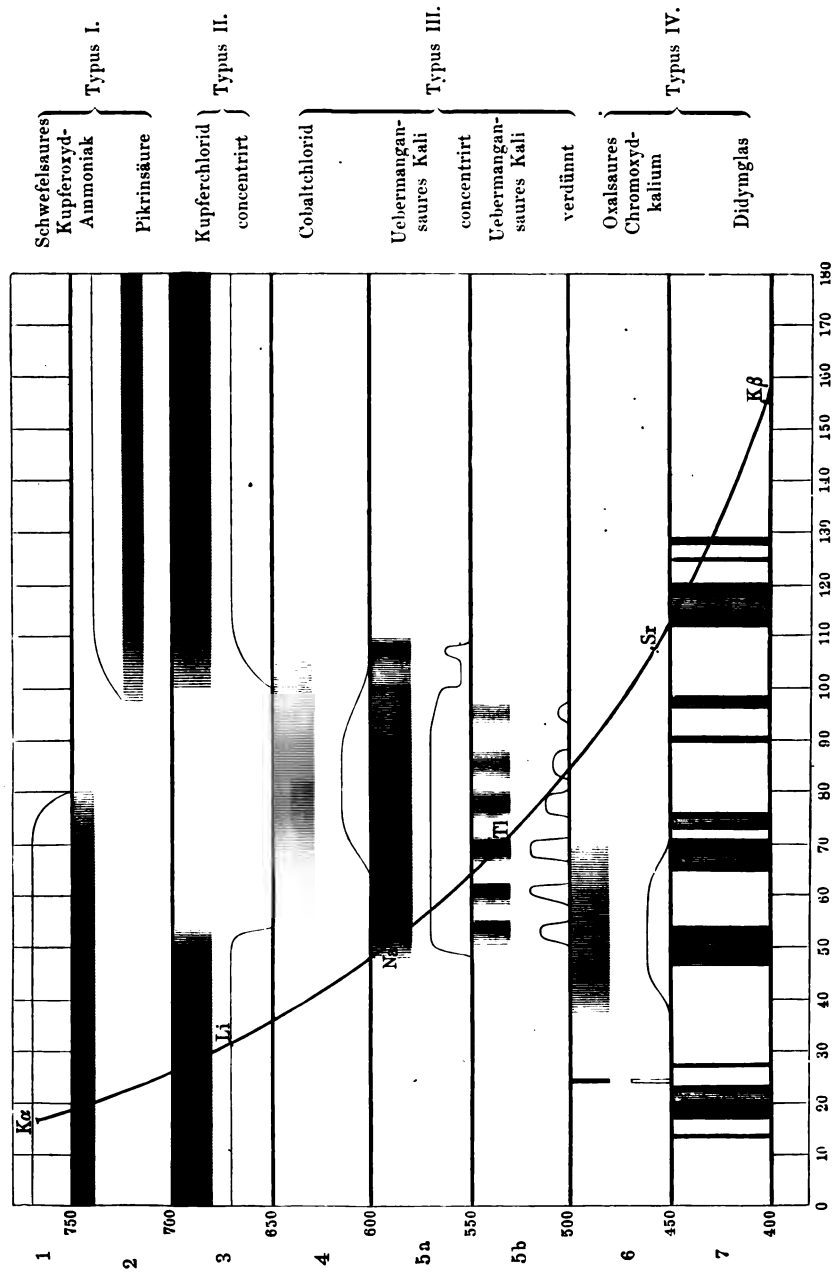


II. Beschreibung einiger Absorptionsspectra. Die Absorptionsspectra kann man in vier Typen eintheilen.

1. Typus: Einseitige Absorption. Eine Hälfte des Spectrums, gewöhnlich die blaue, wird vollständig absorbirt. Die Grenze der Absorption rückt mit steigender Concentration stetig vor.

Beispiele: Eisenchlorid; Kaliumbichromat; Pikrinsäure (Tafel II, Nr. 2) (sie lassen Roth und Gelb und etwas Grün durch und absorbiren das blaue Ende);

Tafel II.


Typus I.
Schwefelsaures Kupferoxyd-Ammoniak
Pikrinsäure
Typus II.
Kupferchlorid concentrirt
Typus III.
Cobaltchlorid
Uebermangansaures Kali concentrirt
Uebermangansaures Kali verdünnt
Typus IV.
Oxalsaures Chromoxydkalium
Didymglas
Kα
Li
Na
Tl
Sr
Kβ
1
2
3
4
5a
5b
6
7
750
700
650
600
550
500
450
400
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180

Kupfersulfat; schwefelsaures Kupferoxyd-Ammoniak, hergestellt durch Zusatz von Ammoniak zu einer Kupfersulfatlösung, bis der gebildete Niederschlag wieder gelöst ist (Tafel II, Nr. 1) (lässt Blau durch, absorbirt Roth, Gelb und Grün ganz oder zum Theil).

2. Typus: Zweiseitige Absorption. Das rothe und das blaue Ende des Spectrums werden absorbirt, nur die mittleren Theile werden durchgelassen.

Beispiele: Kupferchlorid [von concentrirteren wässerigen Lösungen dieses Salzes werden alle Strahlen bis zum Grün und auf der anderen Seite vom Grünblau an absorbirt; die Lösung erscheint grün (vergl. übrigens auch weiter unten S. 313)]; Nickelchlorid; Kupferacetat.

3. Typus. Bandenspectra. Bei den Absorptionsspectren dieser Classe bemerkt man innerhalb des sichtbaren Spectrums mehr oder weniger breite, an den Rändern verwaschene Banden oder dunkle Felder („Schatten"). Nicht selten gesellt sich dazu eine einseitige oder zweiseitige Absorption der Enden des Spectrums. Die oben als einseitige und zweiseitige Absorption beschriebene Erscheinung kann in vielen Fällen auch ein Bandenspectrum darstellen, bei dem der eine Rand einer Bande im ultravioletten oder infrarothen Spectrum liegt und nur der andere im sichtbaren Spectrum.

Beispiel: Verdünnter Rothwein; Kobaltchlorid (Tafel II, Nr. 4); rothe und blaue Gläser.

Sehr häufig ist bei concentrirten Lösungen nur ein einziger dunkler Streifen zu bemerken; derselbe löst sich aber bei grösserer Verdünnung in mehrere auf.

Beispiel: Kaliumpermanganat (vergl. Tafel II, Nr. 5a. und 5b.) zeigt in concentrirten Lösungen einen tiefen, vom Gelb bis in das Blau gehenden Schatten; in verdünnten Lösungen löst sich derselbe in fünf sehr nahe gleich weit von einander abstehende Banden im Grün auf.

4. Typus. Linienspectra. Das Spectrum ist durchzogen von einzelnen dunklen Absorptionslinien. Einen Uebergang von Typus 3 zu Typus 4 bildet das Spectrum des oxalsauren Chromoxydkalium. Dasselbe zeigt im Gelb eine verwaschene breite Bande (Typus 3), im Roth dagegen eine feine scharfe Linie (Typus 4) (Tafel II, Nr. 6). Ein Linienabsorptionsspectrum zeigen streng genommen nur die Gase und Dämpfe, bei festen und flüssigen Körpern sind die Linien immerhin ziemlich breit und an den Rändern, wie sich bei starker Dispersion zeigt, stark verwaschen.

Beispiele: Joddampf. Man erwärmt ein etwas Jod enthaltendes, zugeschmolzenes Reagirglas und sieht im Grün drei dunklere Absorptionsbanden, die bei zu reichlicher Dampfmenge zu einem einzigen tiefen Schatten zusammenfliessen; beim allmählichen Erkalten erkennt man in diesen Banden, sowie im ganzen Gelb bis tief ins Roth hinein bei engem Spalte eine grosse Zahl feiner, scharfer, von einander gleich weit abstehender Linien.

Untersalpetersäure ($N O_2$), welche in einer Röhre eingeschmolzen ist, zeigt dunkle Linien vor Allem im Grün und Blau; beim Erhitzen mit einem Bunsenbrenner werden dieselben immer dunkler und zahlreicher. Es beruht dies auf

einer Dissociationserscheinung; bei sehr niedrigen Temperaturen hat unser Körper die Zusammensetzung $(NO_2)_2$. $(NO_2)_2$ ist ungefärbt; beim Erwärmen zerfällt 1 Mol. $(NO_2)_2$ in je 2 Mol. NO_2, die gefärbt sind. Je höher die Temperatur, um so mehr Molecüle $(NO_2)_2$ sind in Molecüle NO_2 zerfallen, um so dunkler ist die Farbe. Natürlich erreicht die Dunkelheit der Streifen eine Grenze, sobald alle Molecüle $(NO_2)_2$ in NO_2 zerfallen sind.

Zu dieser Classe von Spectren gehört auch das Sonnenspectrum. Die in ihm auftretenden dunklen Linien, welche herrühren von der absorbirenden Wirkung von Metalldämpfen in der Sonnenatmosphäre, werden nach ihrem Entdecker die „Fraunhofer'schen Linien" genannt (s. S. 253).

Auch einige Salze zeigen ein Linienabsorptionsspectrum.

Beispiel: Didym in Didymglas. Bei diesem Spectrum ist zu beachten, wie die Linien einander immer paarweise zugeordnet sind.

Daraus, dass das Helligkeitsverhältniss dieser Linien bei Didymverbindungen von gewissen Fundorten ein anderes war, als bei denen von anderen, konnte man schliessen, dass das Didym verschiedene Substanzen enthalten müsse. Man hat in der That aus demselben eine Reihe neuer Elemente (Neodidym, Praseodidym etc.) gewonnen, nach ganz analogen Principien, wie sie bei der Emissionsspectralanalyse angegeben (S. 307) worden sind, nur dass hier die Absorptionsspectra die nöthigen Anhaltspunkte für die zur Reindarstellung der einzelnen Bestandtheile dienenden chemischen Processe geben.

b) Einfluss von Temperatur, Schichtdicke u. s. w. auf die Absorptionsspectra.

Gebraucht wird: Keilförmiges Hohlprisma; Blätter von Mentha (Pfefferminzthee); Alkohol und Aether. Flaschen mit Jodblei und Chromgelb, Quecksilberjodid und Kupferjodid-Quecksilberjodid. Wässerige und alkoholische Safraninlösung; wässerige Kupferchloridlösung (verdünnt und concentrirt); Jod in Alkohol und in Schwefelkohlenstoff gelöst; Kobaltchloridlösung mit und ohne Zusatz von Kochsalz; Reagirgläser.

Hier sind die im Text beschriebenen Versuche als Uebung auszuführen.

I. Einfluss der Schichtdicke. Je dicker die absorbirende Schicht ist, um so dunkler und breiter erscheinen die Absorptionsstreifen. Bei sehr dicken Schichten können mehrere Absorptionsstreifen zu einem einzigen zusammenfliessen. Dem entsprechend ändert sich in manchen Fällen die Farbe der Lösung.

Durch Uebergiessen von Blättern von Mentha (Pfefferminzthee) mit Alkohol oder Aether extrahirt man den grünen Pflanzenfarbstoff, das Chlorophyll. Mit dem Extract füllt man eine keilförmige Glasflasche, welche man vor dem Spalt vorüberführt, und verfolgt die Aenderung des Absorptionsspectrums, wenn man von dünneren Schichten allmählich zu immer dickeren übergeht. Bei dünnen Schichten und nicht zu starken

Concentrationen zeigt der alkoholische Aufguss nahe bei einander fünf getrennte Absorptionsstreifen im Gelb, Grün und Grünblau.

II. Einfluss der Concentration. Derselbe macht sich, falls nicht mit der Aenderung der Concentration chemische Veränderungen verbunden sind, gerade wie die der Schichtdicke, regelmässig in der Weise geltend, dass bei zunehmender Concentration die Absorptionsbanden sich verbreitern und dunkler werden. Dabei können unter Umständen mehrere derselben zu einer einzigen dunklen Bande verschmelzen, so dass dadurch der Charakter des Spectrums verändert erscheint (Kaliumpermanganat).

Diese Verbreiterung der Absorptionsstreifen kann zur Folge haben, dass die Farbe der Lösung eine ganz andere im verdünnten als im concentrirten Zustande ist; z. B. bei vielen Anilinfarben, sowie beim Chlorophyll, das in hinlänglich dicken Schichten in verdünnten Lösungen grün, in sehr concentrirten dagegen roth erscheint; man bezeichnet diese Erscheinung häufig unpassend als Dichroïsmus, ein Ausdruck, der nur auf gewisse Erscheinungen bei Krystallen angewandt werden sollte.

III. Einfluss des Lösungsmittels. In vielen Fällen ist es für das Absorptionsspectrum nicht gleichgültig, in welchem Lösungsmittel der zu untersuchende Körper gelöst ist. Der Einfluss des Lösungsmittels kann 1) ein rein physikalischer sein. So sind die Absorptionsstreifen in Lösungen der meisten Substanzen um so weiter nach dem Roth verschoben, je stärker das Lösungsmittel dispergirt (Kundt'sche Regel). 2) Können durch den Einfluss des Lösungsmittels bedingte Aenderungen im molecularen Bau des absorbirenden Körpers das Spectrum wesentlich verändern: chemischer Einfluss.

1. Beispiel für physikalische Veränderung. Von einem concentrirten alkoholischen Chlorophyllauszug werden mit der Pipette gleiche Mengen zu gleichen Mengen von Aether, Alkohol, Chloroform, Benzol und Schwefelkohlenstoff gesetzt; der dem Roth zunächst liegende Absorptionsstreifen erscheint bei jedem folgenden Lösungsmittel weiter nach dem Roth zu verschoben; die Lösungsmittel sind so geordnet, dass jedes folgende eine grössere Dispersion besitzt, als das vorhergehende.

2. Beispiel für chemische Veränderungen. Safranin in Wasser zeigt einen sehr breiten, verwaschenen, matten Absorptionsstreifen, der fast das ganze Grün erfüllt; Safranin in Alkohol zeigt zwei verhältnissmässig dunkle und schmale Streifen im Gelbgrün.

Eine wässerige Lösung von Kupferchlorid zeigt bei schwacher Concentration eine blaue Färbung; im Absorptionsspectrum fehlen nur die äussersten rothen und violetten Partien. Concentrirte Lösungen zeigen eine intensiv grüne Farbe, das durchgelassene Licht besteht nur noch aus Grün und etwas Blau. Hier gesellt sich zu dem Einflusse der Concentration der Einfluss einer Bildung von wasserhaltigen $CuCl_2$-Molecülen bei wachsender Verdünnung.

Jod in Alkohol gelöst zeigt eine braune Färbung. Die Lösung lässt nur Roth und Gelb durch, aber kein Blau und Violett, selbst nicht in grossen Verdünnungen. Eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff zeigt die violette Färbung des Joddampfes. Blau und Violett werden durchgelassen und nur das Grün wird absorbirt. In der alkoholischen Lösung existirt wahrscheinlich das

Jod in grösseren Molecülcomplexen, im Schwefelkohlenstoff in der einfacheren Form des Dampfmolecüles.

IV. Einfluss der Temperatur. 1) Das ganz hellgelbe Jodblei und das gelbe Chromgelb werden beim Erhitzen auf einem Platinbleche dunkelgelb, fast rothbraun, schon ehe sie schmelzen. Beim Abkühlen tritt die alte Farbe wieder hervor. Für die Annahme einer chemischen Umänderung, welche die Farbenwandlung bedingte, liegt hier kein Grund vor.

2) Das rothe Jodquecksilber wird beim Erwärmen gelb und behält die Farbe beim Abkühlen, es geht in eine andere Modification über. Beim Reiben und längeren Liegen kommt das Roth wieder zum Vorschein. Das rothe Kupferjodid-Quecksilberjodid wird beim Erwärmen schwarz, auch hier bildet sich eine neue Modification.

Das Dunklerwerden des Pulvers rührt daher, dass die in die Körnchen des heissen Pulvers eindringenden und nach der Reflexion an der Rückfläche wieder austretenden Strahlen stark geschwächt, also stärker absorbirt werden, als bei Anwendung des kalten Pulvers, die verschiedene Farbe daher, dass die Absorptionsspectra selbst sich ändern.

3) Auf chemische Umsetzungen in der Lösung unter gleichzeitigem Einfluss der Temperatur hat man das Verhalten des Kobaltchlorids in wässeriger Lösung zurückzuführen. Erwärmt man eine solche Lösung, welche einen breiten, verwaschenen Absorptionsstreifen im Grün zeigt, nicht über 100^0, so ist keine Veränderung bemerklich; setzt man der Lösung etwas Chlornatrium zu, so wird sie beim Erwärmen bläulich und zeigt dann neben dem verwaschenen Streifen im Grün ein breites, aus einem helleren und einem weniger brechbaren, sehr dunklen Theil bestehendes Band im Roth und zwei feine, scharfe Linien im Roth. Beim Abkühlen verschwinden diese Linien und Banden wieder und die Lösung nimmt wieder ihre ursprüngliche Färbung an. — Ebenso wird eine blaue verdünnte Lösung von Kupferchlorid in Folge einer Wasserabspaltung beim Erhitzen grün.

c) Verwendung der Absorptionsspectra zur Analyse.

Gebraucht wird: Spectralapparat. Eine mit Fuchsin gefärbte Gelatineplatte; Lösung von KCl, von NaCl und von KCl + NaCl; Bunsenbrenner. — Urannitratlösung; granulirtes Zink; Salzsäure; Eisenchloridlösung mit und ohne Zusatz von Urannitrat; Reagirgläser. — Alkannalösung in 2 Thln. Alkohol und 1 Thl. Aether; Ammoniak; Lösung von kohlensaurem Ammoniak in Wasser (1 : 8); Lösung von Chlormagnesium in Wasser (1 : 100); Kalialaunlösungen mit und ohne Zusatz von Magnesiumsulfat. — Frisches Blut; Schwefelammoniumlösung; Salzsäure; Aetzkali (oder kohlensaures Natron); Leinwand mit eingetrockneten Blutflecken; Reagirglas zur Entwickelung von Kohlenoxyd; Oxalsäure; Schwefelsäure; weinsaure Eisenoxydullösung (1 Thl. Eisenvitriol, 1 Thl. Weinsäure, 10 Thle. Wasser).

I. Nachweis von Kalium neben Natrium.

Princip. Eine dünne, mit Fuchsin gefärbte Gelatineplatte oder Platte aus Kobaltglas lässt nur das Roth und äusserste Blau durch,

absorbirt aber das Gelb; man kann sie zum Nachweis von Kalium neben Natrium in der Flamme benutzen.

Uebung. 1) An einer Platindrahtöse wird ein Tropfen einer nicht zu concentrirten Chlornatriumlösung in die Flamme des Bunsenbrenners gebracht, und die Flamme durch eine mit Fuchsin gefärbte, dünne Gelatineplatte oder eine Kobaltglasplatte betrachtet: die Flammenfärbung ist fast unmerklich. 2) Die Flamme wird durch eine Chlorkaliumperle gefärbt; durch die Platte betrachtet, erscheint die Flamme sehr hellviolett: die Platte lässt die rothen und violetten Strahlen des Kaliums durch, die gelben der Natriumflamme dagegen nicht.

3) Von zwei Lösungen enthält die eine nur Chlornatrium, die andere daneben noch Chlorkalium. Mit Hülfe der Flammenfärbung ist zu ermitteln, in welcher Lösung sich das Kalium befindet.

II. Spectralreactionen der Uransalze.

Erkennung des Urans. Die Uranoxydsalze, am besten Urannitrat ($UO_2N_2O_6 + 6H_2O$), zeigen in wässerigen, concentrirten Lösungen eine gleichförmige Absorption im Indigo und Violett. Im Blau liegen schmale Banden beim Urannitrat, in der Nähe der $F(H_\beta)$-Linie eine schwache, schmale Absorptionsbande, weiter nach dem Violett hin eine breitere und dunklere.

Charakteristischer ist das Absorptionsspectrum der Uranoxydulsalze.

Uebung 1. 1) In eine in einem Reagensglas enthaltene concentrirte Urannitratlösung wirft man einige Stückchen granulirten Zinks und giesst reichlich Salzsäure dazu. Unter lebhafter Wasserstoffentwickelung färbt sich die Lösung allmählich schmutzig dunkelgrün, das Oxydsalz wird zu dem Oxydulsalz reducirt.

2) Man giesst etwas von dieser Lösung in ein etwa 12 mm weites Reagirglas.

Man erhält das Absorptionsspectrum der Uranoxydulsalze. Dasselbe zeigt eine Doppellinie im Orange, bestehend aus einer sehr kräftigen, breiten Absorptionsbande, und einer schmäleren, aber ebenfalls sehr dunklen Linie nach dem Roth zu. Beide sind in einen schwächeren Schatten gehüllt, indem nach dem Gelb zu noch ein drittes Absorptionsmaximum schwach angedeutet ist.

Im Grün erscheint eine breite, verwaschene, schwächere Bande. Im Blau sind mehrere schwache Banden zu erkennen. An sie schliesst sich eine continuirliche Absorption der brechbarsten Theile des Spectrums.

Durch dieses Spectrum, besonders durch die Linien im Orange, kann man Spuren von Uran nachweisen; die Gegenwart von Eisen, Chrom, Kobalt, Nickel, Zink oder Aluminium stört die Reaction nicht.

Uebung 2. Von zwei Eisenchloridlösungen, von denen der einen Urannitrat zugesetzt ist, werden Proben in zwei gleich dicke Reagirgläser gegossen, beide werden durch Zink und (reichlichen) Salzsäure-

zusatz reducirt. Durch das Auftreten des Absorptionsspectrums der Uranoxydulsalze wird ermittelt, welche von den beiden Lösungen Uran enthält.

III. Spectralreaction zur Erkennung von Magnesium.

Der alkoholisch-ätherische Extract (2 Thle. Alkohol, 1 Thl. Aether) der Alkannawurzel ist roth und zeigt im Spectrum drei breite verwaschene, matte Streifen im Grüngelb, Grün und Blaugrün.

Bei Ammoniakzusatz wird die Lösung blau und zeigt zwei verwaschene Streifen im Orange und Gelb.

Uebung 1. Zu einer alkoholisch-ätherischen Alkannalösung setzt man einen Tropfen (nicht mehr!) einer Lösung von kohlensaurem Ammoniak in Wasser (1 : 8). Das Spectrum ändert sich nicht; die so erhaltene Lösung dient als Probeflüssigkeit. Ist die Lösung rein alkoholisch, so tritt ein dunkler Streifen im Orange auf. Man prüft dies an einer Lösung, die man erhält, wenn man im Reagirglase ein Spänchen Alkannawurzel mit Alkohol übergiesst und für diese die Lage der Streifen bestimmt.

Setzt man zu der Probeflüssigkeit einen Tropfen einer Chlormagnesiumlösung (1 : 100), so wird die Flüssigkeit himmelblau und zeigt ein Spectrum mit zwei Streifen im Orange und Gelbgrün (zu beiden Seiten von *D*), die weiter nach dem Roth liegen, als die Streifen der alkoholisch-ammoniakalischen Lösung.

Durch das Auftreten dieser beiden Streifen wird Magnesia leicht neben Kalk und Thonerde erkannt.

Uebung 2. Von zwei Kalialaunlösungen werden der einen Spuren von Magnesiumsulfat beigemischt. Der Praktikant hat zu ermitteln, welche Lösung Magnesium enthält. Er lässt beide Lösungen auf die Probeflüssigkeit einwirken. Das Auftreten der beschriebenen Streifen zeigt das Vorhandensein des Magnesiumsalzes an. Die Streifen lassen sich durch ihre Lage leicht von denen unterscheiden, welche eine ammoniakalische Lösung hervorbringt.

IV. Die Blutreactionen.

Frisches Blut zeigt in Verdünnungen von 1 : 40 mit Wasser die zwei sehr intensiven Absorptionsstreifen des Oxyhämoglobins im Gelb und Grüngelb (Fig. 165, Nr. 1). Der eine Streifen beginnt fast genau an der Natriumlinie (*D*). Im Blau hinter *F* beginnt die totale Absorption.

Uebung. 1) Man verdünne die wässerige Blutlösung mehr und mehr: die Streifen verschmälern sich, ohne ihre mittleren Lagen wesentlich zu verändern. Man stelle die Lage der Mitten der beiden Streifen an der Scala möglichst genau fest.

2) Zu einer verdünnten Blutlösung setzt man etwas Schwefelammonium und lässt sie eine Zeit lang stehen: die Oxyhämoglobinstreifen

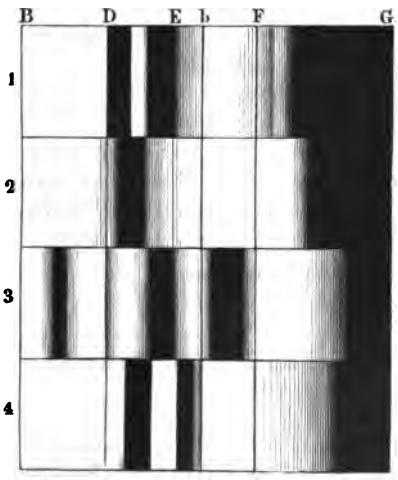
verschwinden; ein sehr blasser, breiter, verwaschener Streifen im Grün tritt auf (Fig. 165, Nr. 2). Der Blutfarbstoff wird reducirt, das Band im Grün kommt dem reducirten Hämoglobin zu.

Schüttelt man die Lösung, so oxydirt sich der Blutfarbstoff wieder und sofort treten auch die beiden Streifen des Oxyhämoglobins wieder auf. Alkalische Reductionsmittel reduciren also das Oxyhämoglobin vollständig.

3) Man stellt eine concentrirte Blutlösung her und tropft einige Tropfen Salzsäure zu: die Lösung wird braun, die Hämoglobinstreifen verschwinden. Es tritt ein dunkler Streifen im Roth und zwei sehr breite und verwaschene Streifen im Grün auf (Fig. 165, Nr. 3). Das im Roth auftretende Band nennt man das Säureband. Saure Reductionsmittel zerstören also das Oxyhämoglobin.

4) Man erwärmt eine verdünnte Blutlösung mit einer concentrirten Lösung von Aetzkali oder kohlensaurem Natron. Die Lösung wird grün: es entsteht Oxyhämatinalkali. Beim Erkalten wird die Lösung röthlich. Das Spectrum zeigt einen leichten Schatten im Gelb, in diesem aber unter Umständen noch einen intensiv schwarzen Streifen im Gelbgrün. Schüttelt man die Lösung kräftig mit Luft, so tritt wieder eine Oxydation ein: der dunkle Streifen verschwindet, es bleibt nur der matte Schatten. Häufig kommt der Streifen gar nicht zum Vorschein.

Fig. 165.



5) Zu der soeben erhaltenen Lösung setzt man einige Tropfen von Schwefelammonium. Es erscheinen sogleich zwei sehr dunkle Streifen im Grün, die grosse Aehnlichkeit haben mit den Oxyhämoglobinstreifen (vergl. Fig. 165, Nr. 4). Der nach dem Roth hin gelegene Streifen ist aber ungleich intensiver als der andere, viel mehr als dies bei den Oxyhämoglobinstreifen der Fall ist. Beide Streifen liegen ferner dem Blau näher. Sie gehören dem reducirten Hämatin an.

6) Untersuchung eingetrockneter Blutflecken. Von einem mit Blut befleckten Stück Leinwand, welches längere Zeit an der Luft gelegen hat, so dass die Blutflecken bereits rostfarben geworden sind, schneidet man einige Streifen ab und erhitzt sie mit Na_2CO_3-Lösung (1 : 10) einige Zeit. Dann giesst man etwas von der entstandenen braunen Lösung in ein Reagensglas und tropft etwas $(NH_4)_2S$ zu. Sofort erscheinen die für das reducirte Hämatin charakteristischen Streifen (Fig. 165, Nr. 4), besonders die nach dem Roth zu gelegenen.

Fig. 166.

7) Nachweis einer Blutvergiftung durch Kohlenoxyd. Eine Lösung von weinsaurem Eisenoxydul (1 Thl. Eisenvitriol, 1 Thl. Weinsäure und 10 Thle. Wasser) wird mit 0,6 ihres Volumens Ammoniak versetzt. Tropft man von dieser Lösung einige Tropfen in eine sehr verdünnte Lösung von reinem, frischem Blut, so verschwinden die Oxyhämoglobinstreifen und an ihre Stelle tritt ein sehr verwaschener Streifen im Grün.

Von der ursprünglichen Blutlösung giesst man etwas in ein Reagirglas und leitet einige Minuten lang einen Strom von Kohlenoxyd hindurch. Man stellt dies dar, indem man über krystallisirte Oxalsäure in einem Reagirglase concentrirte Schwefelsäure giesst und gelinde erwärmt. (Die bei dem Zerfall der Oxalsäure neben dem Kohlenoxyd auftretende Kohlensäure braucht man nicht zu entfernen.)

Die Blutlösung nimmt eine etwas mehr rosafarbene Tinte an.

Giesst man zu dieser kohlenoxydhaltigen Blutlösung etwas von der alkalischen weinsauren Eisenlösung, so verschwinden die Oxyhämoglobinstreifen nicht, wodurch sie von der reinen Blutlösung zu unterscheiden ist.

VIII. Untersuchung des Sonnenspectrums.

Gebraucht wird: Heliostat; Spectralapparat; Papptafel; Curventafel; Vergleichsprisma; Natriumflamme.

Uebung. 1) Man leitet das von der Sonne oder dem hellen Himmel kommende Licht durch einen (Spiegel) Heliostaten auf den Spalt des Spectralapparates; macht man den Spalt eng, so sieht man in dem Farbenbande eine Reihe von dunklen Absorptionslinien, „Fraunhofer'sche Linien", die in dem sichtbaren Theile des Spectrums mit den Buchstaben *A* bis *H* und *a* etc. bezeichnet werden.

2) Man bestimmt die Lage derselben auf der Scala in folgender Weise:

Man beleuchtet die Scala, stellt das Fadenkreuz auf die betreffende Linie im Sonnenspectrum, blendet durch ein vorgehaltenes Stück Pappe die Sonne ab, und liest die Lage des Fadenkreuzes auf der Scala ab und trägt die Punkte ein (Fig. 166).

Man sieht, dass auf dieselbe Stelle fallen Linie D und die gelbe Natriumlinie; ferner b und die S. 304 beschriebenen Magnesiumlinien in grüner, sowie die Fraunhofer'schen C, F und h mit Wasserstofflinien, nämlich

$$C \text{ und } H_\alpha, \qquad F \text{ und } H_\beta, \qquad h \text{ und } H_\gamma.$$

Es muss also, da noch für viele andere Linien solche Coincidenzen stattfindet, eine Beziehung zwischen den dunklen Absorptionslinien des Sonnenspectrums und den hellen Emissionslinien gewisser irdischer Stoffe vorhanden sein; sie ist bestimmt durch den Satz von Kirchhoff:

„Ein Körper sendet gerade die Strahlen aus, die er absorbirt."

Auf der Sonne haben wir somit Absorptionsspectra der Elemente.

Die Sonne und die Erde enthalten die gleichen Elemente.

3) Die Coincidenz der D-Linie und der Natriumlinie ist noch mit dem Vergleichsprisma zu constatiren.

VII. Das Spectrophotometer.

Gebraucht wird: Das Glan'sche Photometer; Heliostat; Gaslampe; Absorptionstrog; Kupfervitriol; Rauchglas auf Stativ; Dickenmesser.

I. Princip. Die unter „Photometrie" angegebenen Methoden zur Vergleichung der Helligkeit zweier Lichtquellen setzen voraus, dass beide Lichtquellen dieselbe Farbe haben. Ist dies nicht der Fall, oder will man die Stärke der Absorption einer Substanz für die verschiedenen Farben untersuchen, so muss man das zu untersuchende Licht und das Licht der Vergleichslampe in ein Spectrum zerlegen. Man halbirt dazu den Spalt eines Spectralapparates und beleuchtet jede Hälfte mit dem Lichte einer der zu vergleichenden Lichtquellen, wozu vor die eine Hälfte ein Vergleichsprisma (S. 293) gestellt werden kann, oder man lässt bei Absorptionsversuchen auf die beiden Spalthälften Licht fallen, das durch verschiedene Dicken der absorbirenden Substanz gegangen ist.

Um die Helligkeit in den auf diese Weise im Beobachtungsfernrohr über einander entstehenden Spectren zu vergleichen, blendet man die zu untersuchende Farbe durch einen Ocularspalt (s. w. u.) aus und ändert die Gesammthelligkeit der beiden Spectra in messbarer Weise so lange, bis die Helligkeiten der untersuchten Farben gleich sind. Bei dem von Vierordt angegebenen Spectrophotometer ändert man zu diesem Zwecke die Weite der beiden Spalthälften, bei dem Glan'schen Photometer geschieht die Schwächung durch polarisirende Vorrichtungen. Wir beschreiben nur das letztere.

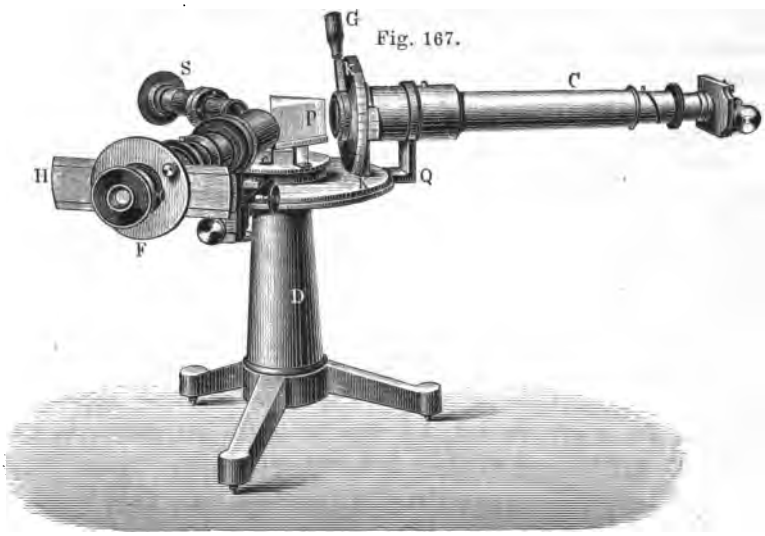
II. Apparat (Fig. 167 und 168). Das Spectrophotometer besteht, wie der Spectralapparat, aus drei drehbaren Rohren, dem Collimatorfernrohre *C* mit dem Spalte, dem Beobachtungsfernrohre *F*, dem Scalenrohre *S* und dem als dispergirender Körper dienenden Glasprisma *P*.

Der Spalt des Collimators ist durch einen quer über demselben befestigten Streifen in eine obere und untere Hälfte getheilt. Die von diesen kommenden Strahlen werden durch die Collimatorlinse parallel gemacht und fallen auf ein Wollaston'sches Doppelprisma [1]) (*W*), dasselbe liefert von jeder Spalthälfte ein ordentliches und ein ausserordentliches Strahlenbündel, die verschieden stark abgelenkt und senkrecht zu einander polarisirt

[1]) Dasselbe besteht aus zwei passend geschliffenen und zusammengekitteten rechtwinkligen Kalkspathprismen.

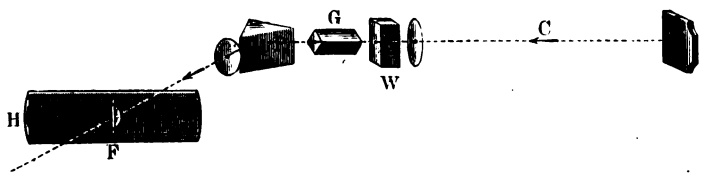
sind. Die so entstehenden vier Strahlenbündel fallen durch ein bei *G* befindliches drehbares Nicol, dessen Stellung an einem Theilkreise *K* abgelesen werden kann, auf das Prisma *P*, werden hier dispergirt und in dem Beobachtungsfernrohr *F* zu vier Spectren vereinigt. Liegen die Axen der Rohre *C* und *F* in einer horizontalen Ebene (was durch Drehen

Fig. 167.



an den mit den Trägern derselben verbundenen Stellschrauben herbeigeführt wird), so fällt von der einen Spalthälfte das ausserordentliche, von der anderen das ordentliche Bild in den mittleren Theil des Gesichts-

Fig. 168.



feldes. Das darüber und darunter liegende dritte und vierte Spectrum wird durch die Platte *H* abgeblendet, in der ein Ausschnitt angebracht ist, dessen Höhe nahe gleich derjenigen der beiden mittleren Spectra zusammen ist.

Das obere dieser beiden Spectra ist unten durch eine vom Roth zum Violett schwach absteigende, das untere oben durch eine vom Roth zum Violett schwach ansteigende Linie begrenzt. Berühren sich also das untere und obere Spectrum für irgend eine mittlere Farbe, was man durch Ausziehen des Collimators erreichen kann, so stehen die Spectra für die weniger brechbaren Strahlen etwas auseinander, für die brechbareren greifen sie übereinander.

Man kann in jedem Theile des Spectrums eine Berührung herbeiführen, ohne die Schärfe der Einstellung zu beeinträchtigen, indem man gleichzeitig das Collimatorfernrohr und das Beobachtungsfernrohr verkürzt oder verlängert.

In der in der Brennebene des Beobachtungsfernrohres F befindlichen Platte P lassen sich von beiden Seiten her zwei Schieber über das Spectrum schieben, wodurch man irgend einen schmalen Theil desselben ausblenden kann; der schmale Raum zwischen den Schiebern heisst der Ocularspalt. Das Scalenrohr S dient zur Festlegung irgend einer Stelle im Spectrum.

Dreht man das Nicol'sche Prisma bei G so, dass sein Hauptschnitt zu der Polarisationsebene des von der oberen Spalthälfte kommenden, durch das Wollaston'sche Prisma gegangenen Lichtbündels senkrecht steht, so erscheint bei beliebiger Beleuchtung beider Spalthälften die untere Gesichtshälfte dunkel, die obere hell. Entfernt man sich von dieser Stellung des Nicols um α Grad, so ist die Helligkeit der unteren Hälfte $ia\sin^2\alpha$, die der oberen $i'a'\cos^2\alpha$, wo i und i' die Lichtmengen sind, welche auf die obere bezw. untere Spalthälfte fallen, a und a' constante Grössen, welche den Lichtverlust im Apparate bestimmen. Ist α der Winkel, bei dem beide Gesichtshälften in einem bestimmten Spectralbezirke gleich hell sind, so ist

$$ia\sin^2\alpha = i'a'\cos^2\alpha$$

$$\frac{i}{i'} = \frac{a'}{a}\operatorname{ctg}^2\alpha$$

für die betreffende Farbe.

III. **Uebungen.** 1. Aichen des Apparates.

Uebung. 1) Man entwirft für die Scala S des Apparates nach den S. 296 gegebenen Vorschriften die Wellenlängen-Curve, welche die Ablesungen an der Scala auf Wellenlängen zu reduciren gestattet.

2) Man richtet den Apparat gegen eine Milchglasplatte, hinter welche man eine Lampe stellt, so dass beide Spalthälften gleichmässig erleuchtet werden, also $i = i'$ und $i/i' = 1$ ist.

3) Man dreht das Nicol so, dass das untere Gesichtsfeld dunkel erscheint und liest die Stellung desselben ab; sie sei α_0.

4) Man dreht, bis beide Gesichthälften gleich erscheinen; Stellung α_1.

Dann ist

$$1 = \frac{a'}{a}\operatorname{ctg}^2(\alpha_1 - \alpha_0),$$

oder

$$\frac{a'}{a} = \operatorname{tg}^2(\alpha_1 - \alpha_0).$$

2. Vergleichung der Helligkeit der verschiedenen Farben zweier Lichtquellen.

Uebung. 1) Das durch einen Heliostaten in horizontaler Richtung geworfene Sonnenlicht lässt man auf ein vor dem Vergleichsprisma des Apparates in passender Entfernung aufgestelltes weisses Papier fallen.

2) Vor den Spalt stellt man eine möglichst helle Gaslampe.

3) Man blendet, indem man das Beobachtungsfernrohr dreht, mit dem Ocularspalt der Reihe nach an den den Scalentheilen S_1, S_2, S_3 ... entsprechenden Theilen des Spectrums schmale, gleich breite Streifen aus, und bestimmt die Stellungen α_1, α_2, α_3 ... des Nicols, bei denen jeweilig Gleichheit der beiden Bilder eintritt.

Dann giebt $\frac{a'}{a} ctg^2(\alpha_1 - \alpha_0)$, $\frac{a'}{a} ctg^2(\alpha_2 - \alpha_0)$ u. s. w. die relative Helligkeit des Lampenlichtes gegenüber dem diffus reflectirten Sonnenlicht für die verschiedenen, den Scalentheilen S_1, S_2, S_3 ... entprechenden Wellenlängen λ_1, λ_2, λ_3 ...

Man findet, dass das Gaslicht relativ sehr arm an violetten und blauen Strahlen ist, und dass bei ihm die rothen Strahlen überwiegen.

4) Denselben Versuch stellt man mit einer Bogenlichtlampe und einer Glühlichtlampe bei verschiedenen Stromstärken an.

3. Bestimmung der Extinction und Absorption[1]) eines farbigen Glases für die verschiedenen Theile des Spectrums.

Uebung. 1) Ein Stück blauen Glases wird mittelst eines Stativs vor die untere Spalthälfte gehalten, so dass die obere Kante gerade vor die Mitte des den Spalt bedeckenden Streifens zu liegen kommt. Man stellt vor das Glas eine Linse und in Brennweitenentfernung vor dieselbe eine Lampe; es erscheinen im oberen Spectrum, welches der unteren Spalthälfte entspricht, im Gelb und Grün dunkle Streifen.

2) Man liest die den Streifen entsprechenden Scalentheile S ab und blendet einzeln ihre mittelsten, dunkelsten Stellen, ihre Randpartien, sowie auch diejenigen Stellen aus, in denen keine Absorption zu sehen ist.

3) Man bestimmt für die einzelnen Streifen die Winkel α, für welche Gleichheit eintritt. Dann ist $i/i' = a'/a \,.\, ctg^2(\alpha - \alpha_0)$ die relative Helligkeit der Streifen. Hierbei ist aber i die Helligkeit des auffallenden Lichtes, i' die des an den betreffenden Stellen durchgegangenen Lichtes; also ist

$$\frac{i'}{i} = E$$

die Extinction (S. 235) und

$$\frac{i - i'}{i} = A$$

die Absorption des Glases für die betreffende Strahlengattung.

Zu beachten ist, dass der Helligkeitsverlust $i - i'$ nicht allein von der Absorption im Glase herrührt, sondern auch von der Reflexion an der vorderen und hinteren Wand desselben; der Verlust bei jeder der-

[1]) Ueber die Definitionen vgl. S. 235.

selben beträgt bei Glas von dem Brechungsindex 1,5, 0,04 i, beide Verluste zusammen betragen also 0,08 i.

4. Bestimmung der Extinctions- und Absorptionscoëfficienten einer gefärbten Flüssigkeit.

Hierzu dient ein Glastrog mit parallelen Wänden (vergl. S. 6 und Fig. 169, 170), in dessen untere Hälfte eine kleine planparallele Platte (Schulz'scher Körper) gelegt wird, so dass zwei über einander liegende, verschieden dicke Tröge entstehen.

Uebung. 1) Man füllt den Trog mit Kupfervitriollösung und stellt ihn so vor den Spalt, dass die obere Kante des Schulz'schen Körpers vor der Mitte des Spaltes steht. Vor diesen stellt man eine Lampe auf und eine Linse, welche die von ihr ausgehenden Strahlen parallel macht.

2) Man bestimmt wie in III. für verschiedene Stellen des Spectrums das Verhältniss i/i' der Intensitäten i und i', der durch die obere und die untere Hälfte des Troges gegangenen Strahlen.

Fig. 169.

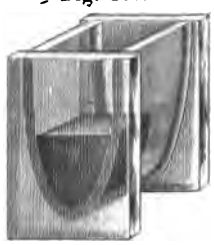


Fig. 170.

3) Man misst die Dicke des Schulz'schen Körpers d mm und die lichte Dicke des ganzen Troges, also ohne Deckplatten D mm.

Berechnung. Ist I die Intensität des auffallenden Lichtes, ε der auf die Schichtdicke = 1 mm bezogene Extinctionscoëfficient (S. 235), für den wir der bequemeren Rechnung wegen setzen $\varepsilon = e^{-\alpha}$ ($e = 2{,}71825$), so sind die Intensitäten i und i' der durch die obere und untere Schicht von der Dicke D und $D - d$ gegangenen Strahlen:

$$i = Ie^{-\alpha D} \quad i' = Ie^{-\alpha(D-d)} = I\frac{e^{-\alpha D}}{e^{-\alpha d}},$$

und $i/i' = e^{-\alpha d}$.

Die Grösse α selbst ist demnach

$$\alpha = -\frac{1}{d}\frac{Log\ i/i'}{Log\ e},$$

α selbst wird positiv, da $log\ i/i < 0$ ist.

Bemerkung. Dadurch, dass man zwei verschieden dicke Schichten derselben Lösung mit einander vergleicht, macht man sich fast frei von dem Einfluss der Lichtverluste, welche durch regelmässige Reflexion an den Glaswänden der Tröge und den Grenzflächen zwischen Glas und Lösung herbeigeführt werden. Dass in der Schicht, in der sich der Schulz'sche Körper befindet, eine Reflexion mehr als in der andern auftritt, hat keinen grossen Einfluss auf das Resultat.

VII. Polarisation.

Gebraucht wird: Der Nörremberg'sche Apparat; zwei Nicol'sche Prismen; Turmalinzange.

Oben wurde erwähnt, dass das Licht in transversalen Schwingungen besteht; bei dem gewöhnlichen, natürlichen Licht erfolgen dieselben in allen Ebenen, die durch den Lichtstrahl gelegt sind. Jede dieser Schwingungen lässt sich theoretisch in zwei zerlegen, von welchen die eine in einer bestimmten Ebene, die andere in einer dazu senkrechten Ebene erfolgt. Durch besondere Vorrichtungen können wir einen ganzen Strahl in zwei zerlegen, die so beschaffen sind, dass bei jedem derselben die Schwingungen sämmtlich nur in einer einzigen Ebene stattfinden; ein solcher Lichtstrahl heisst geradlinig polarisirt.

Von Vorrichtungen zur Erzeugung von polarisirten Strahlen besprechen wir nur den Nörremberg'schen Polarisationsapparat, das Nicol'sche Prisma (auch kurz Nicol genannt) und die Turmalinplatte.

a) Der Nörremberg'sche Apparat.

I. Princip. Fällt ein Lichtstrahl unter einem bestimmten Winkel P, dem Polarisationswinkel, auf eine Glasplatte (bei gewöhnlichem Glas circa 53^0), so wird er als polarisirter Strahl zurückgeworfen.

II. Apparat. Der Nörremberg'sche Polarisationsapparat besteht aus einem unteren Spiegel $A_1 A_1$ (Fig. 171, a. f. S.), nämlich einer ebenen Glasplatte, die um eine horizontale Axe drehbar ist, und einem oberen Spiegel, einer schwarzen Glasplatte $A_2 A_2$, der ebenfalls um eine horizontale, aber auch um eine verticale Axe um einen, an einem horizontalen Kreise messbaren Winkel gedreht werden kann.

III. **Uebung.** Wir stellen den Spiegel $A_1 A_1$ so, dass der einfallende Strahl $a\,b$ einen Winkel von 53^0 mit der Spiegelnormalen, von 37^0 mit dem Spiegel selbst bildet, und stellen zunächst den Spiegel $A_2 A_2$ so, dass seine Ebene parallel der des unteren steht (Fig. 171, a. f. S.), dann wird das von $A_1 A_1$ reflectirte Licht auch von $A_2 A_2$ reflectirt. Blicken wir in den Spiegel $A_2 A_2$, so sehen wir das Gesichtsfeld hell. Wir drehen $A_2 A_2$ um 90^0, so dass er die Stellung in der Fig. 170 erhält, dann erscheint das Gesichtsfeld dunkel, wir drehen um 180^0, dann wird es wieder hell, wir drehen um 270^0, dann wird es wieder dunkel.

Die Lage der Spiegelnormalen N_2 c auf A_2 A_2 (Fig. 172) ändert sich hierbei gegen den einfallenden Strahl nicht, sondern nur die Lage der Einfallsebene auf A_2 A_2, die durch c b und die Normale N_2 c gelegt ist, gegen die Einfallsebene auf A_1 A_1, die durch c b und b N_1 gelegt ist.

Sind die beiden Einfallsebenen parallel, so findet Reflexion statt, stehen dieselben senkrecht zu einander, so findet keine Reflexion statt; durch die erste Reflexion hat das Licht also eine Seitlichkeit gegen die Einfallsebene auf A_1 A_1 erhalten, es ist polarisirt. Die Einfallsebene

Fig. 171.

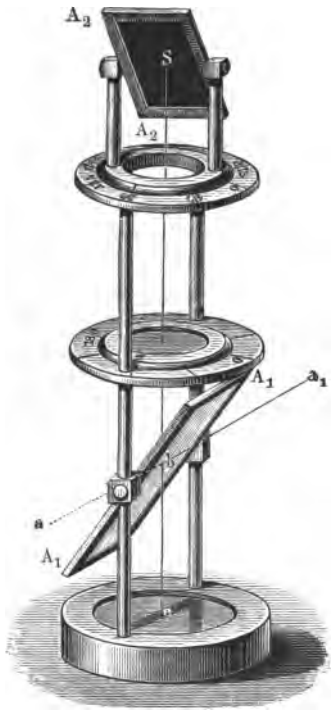


Fig. 172.

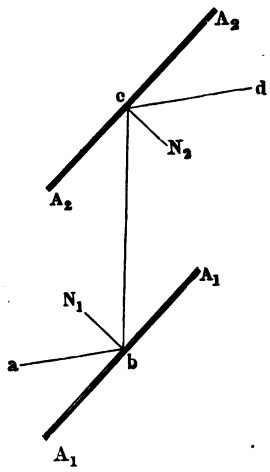
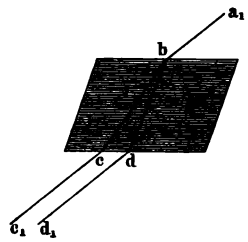


Fig. 173.



des Spiegels A_1 A_1 heisst die Polarisationsebene des reflectirten Strahles.

Die Schwingungen erfolgen nach Neumann und seinen Schülern in der Polarisationsebene, nach Fresnel senkrecht zu der Polarisationsebene. Die letztere Anschauung gewinnt in neuerer Zeit mehr und mehr an Boden.

Statt dass man den Lichtstrahl a b (Fig. 171) nach oben reflectiren lässt, kann man auch einen Strahl a_1 b von A_1 A_1 nach unten reflectiren lassen; er fällt dann auf einen horizontalen Spiegel e und wird von diesem vertical nach oben reflectirt. Er verhält sich beim Auftreffen auf den Spiegel A_2 A_2

gerade wie der Strahl ab nach seiner Reflexion; diese Anordnung ist in vielen Fällen bequemer.

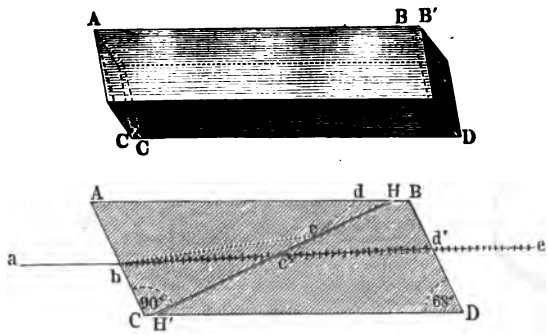
Man nennt den Spiegel $A_1 A_1$ die polarisirende Vorrichtung, den Polarisator, $A_2 A_2$ die analysirende Vorrichtung, den Analysator.

b) Das Nicol'sche Prisma.

I. Princip. Fällt ein natürlicher Lichtstrahl ab auf einen Kalkspathkrystall (Fig. 173) (Doppelspath), so wird er in zwei Strahlen, bc und bd, zerlegt. Der eine, bd, heisst der ordentliche oder ordinäre, der andere, bc, der ausserordentliche oder extraordinäre Strahl. Dieselben haben verschiedene Brechungsindices, und sind in Ebenen polarisirt, die senkrecht zu einander stehen; sie bleiben auch noch polarisirt, wenn sie längs cc_1 und dd_1 den Krystall verlassen.

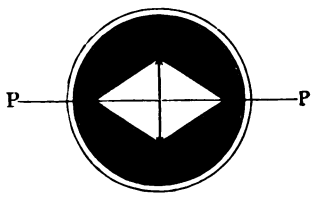
II. Apparat. Von einem Kalkspath $A B' C' D$ werden zunächst Stücke $BB'D$ und $CC'D$ abgeschliffen, das übrig bleibende Stück wird in der in der Fig. 174 angegebenen Weise längs HH' zerschnitten. Die

Fig. 174.



beiden Hälften kittet man mit Canadabalsam zusammen. Der einfallende Strahl ab zerfällt in den ordentlichen bc, der wegen seines hohen Brechungsindex an der Fläche HH' nach cd total reflectirt und dadurch fortgeschafft wird, und den ausserordentlichen bc', der weitergeht und in der Richtung $d'e$ austritt. Diese Vorrichtung heisst Nicol'sches Prisma oder Nicol. Von oben gesehen hat ein Nicol die Gestalt wie Fig. 175. PP ist die Polarisationsebene des durchgehenden extraordinären Strahles.

Fig. 175.



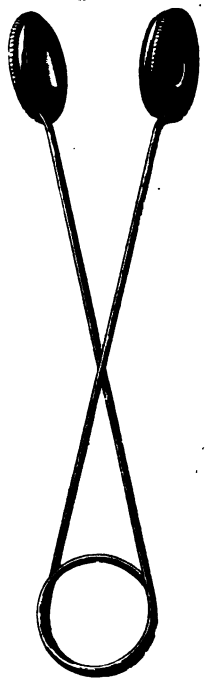
III. Uebung. Man entfernt von dem Nörremberg'schen Apparat den oberen Spiegel $A_2 A_2$ und ersetzt ihn durch ein Nicol, das man dreht.

Steht PP der Einfallsebene des unteren Spiegels $A_1 A_1$ parallel, so ist das Gesichtsfeld hell; steht PP senkrecht zu derselben, so ist es dunkel.

c) Die Turmalinplatte.

I. Princip. Fällt ein Lichtstrahl auf eine Platte von Turmalin, welche so geschnitten ist, dass die optische Axe des Krystalles den Begrenzungsflächen parallel liegt, so lässt diese nur geradlinig polarisirtes Licht durch, dessen Polarisationsebene der optischen Axe parallel ist; das senkrecht zur optischen Axe polarisirte wird im Krystall absorbirt, derselbe ist, wie man sagt, dichroïtisch. Legt man daher zwei solcher Platten auf einander, so wirken sie wie Polarisator und Analysator, sie lassen kein Licht durch, wenn die optischen Axen beider Platten gekreuzt sind, das Maximum der Helligkeit tritt ein, wenn beide einander parallel sind.

Fig. 176.



II. Apparat. Man fasst zwei in Korkscheiben eingelegte Turmalinplatten (Fig. 176) in Metallringe, welche von einer zangenartigen Vorrichtung federnd gegen einander gedrückt werden: Turmalinzange, der eine Turmalin ist der Polarisator, der andere der Analysator.

III. **Uebung.** Man ersetzt in dem Nörremberg'schen Apparat den oberen Spiegel durch eine horizontal gehaltene Turmalinplatte: das Gesichtsfeld wird hell, wenn die optische Axe parallel zur Einfallsebene des unteren Spiegels steht.

IX. Drehung der Polarisationsebene.

Gebraucht wird: Eine cylindrische Glasröhre mit abgeschliffenen Enden, Verschlussplatten und -kappen, Fig. 179; Maasskölbchen (50 cbcm Gehalt); kleinere Waage mit Gewichtssatz; Rohrzucker, Weinsäure, Terpentinöl.

Mitscherlich's Polarisationsapparat mit Röhre und verschiedenen Quarzplatten (senkrecht zur Axe geschnitten); Halter für die Röhren, Halter für die Platten, Fig. 178; Bunsenbrenner auf Stativ mit Schlauch; zwei durchlöcherte Platinbleche, an Platindrähte genietet, die in Glasröhren eingeschmolzen sind; Stativ für die Platinlöffel; Chlornatrium und Chlorlithium; Dickenmesser bezw. Sphärometer; Glasplatte; Terpentinöl; Alkohol; Pyknometer; feine Waage mit Gewichtssatz; Spectralapparat; Gaslampe.

Der Laurent'sche Apparat mit Brenner.

Apparat von Wild mit Beleuchtungslampe; Savart'sche Doppelplatte; Nörremberg'sches Polariskop.

Apparat von Soleil-Ventzke.

Einleitung. Löscht man einen auf irgend eine Weise durch einen Polarisator polarisirten, homogenen Lichtstrahl, z. B. von Natriumlicht, durch einen Analysator, etwa ein Nicol'sches Prisma aus und stellt zwischen Analysator und Polarisator eine Glasplatte oder einen Trog mit Wasser, so bleibt das Gesichtsfeld dunkel. Ersetzt man diese Körper aber durch eine senkrecht zur optischen Axe geschnittene Quarzplatte oder eine Röhre voll Zuckerlösung, so wird das Gesichtsfeld hell, und man muss das analysirende Nicol um einen bestimmten Winkel drehen, um wieder Dunkelheit zu erhalten. Die Polarisationsebene des einfallenden Lichtes hat eine Drehung erfahren und zwar nach rechts oder links, je nachdem das analysirende Nicol nach rechts oder links gedreht werden musste, um wieder Dunkelheit zu erzielen.

Körper, die in dieser Weise auf das Licht wirken, heissen die Polarisationsebene drehende oder optisch-active, und zwar rechtsdrehende (dextrogyre) und linksdrehende (laevogyre), was durch $\overrightarrow{\alpha}$ oder $\overleftarrow{\alpha}$ oder durch + und — angedeutet wird; das positive Vorzeichen entspricht einer Rechts-, das negative einer Linksdrehung.

Nicht drehende Körper heissen inactive.

Feste Körper verwendet man bei der Untersuchung in Form von planparallelen Platten. Flüssigkeiten, die sehr oft zur Untersuchung gelangen, müssen in passende Gefässe, z. B. Röhren, welche an beiden Seiten durch planparallele Glasplatten geschlossen sind (vgl. S. 249), eingeschlossen werden.

Die Grösse der Drehung ist abhängig von der Dicke der drehenden Schicht, der Wellenlänge des verwendeten Lichtes, der Natur der drehenden Substanz, bei Lösungen drehender Substanzen von der Concentration. Die hierfür maassgebenden Definitionen und Gesetze werden bei den Grundversuchen mit dem Mitscherlich'schen Polarisationsapparat besprochen werden.

Wir werden nur einmal das Schema der Beobachtungen geben, da dasselbe bei allen Methoden, ausser bei der von Soleil-Ventzke, das gleiche ist.

Nach allen Methoden, mit Ausnahme der letzterwähnten, sind die Drehungen einer Quarzplatte, von Terpentinöl und zwei Zuckerlösungen zu bestimmen, eventuell kann man auch Weinsäure- und Chininsulfatlösungen etc. verwenden.

1. Der Mitscherlich'sche Polarisationsapparat und Grundversuche.

Der Mitscherlich'sche Apparat (Fig. 177) besteht aus einem polarisirenden Nicol *a*, durch welches das von einer Lichtquelle kommende Licht polarisirt wird. Es fällt auf eine Sammellinse *l*, welches seine Strahlen parallel macht, sodann durch den die Polarisationsebene drehenden Körper und endlich das analysirende Nicol, das entweder mit einem Kreise fest verbunden ist, mit dem es sich gegen einen feststehenden Nonius dreht, oder aber es ist, wie es die Figur zeigt, mit einem Nonius versehen, der sich über einem Kreise dreht.

Fig. 177.

Zwischen den beiden Nicols lässt sich ein kleines Metalltischchen (Fig. 178) aufstellen, auf welchem durch die Federn *m* und *n* und analoge auf der Rückseite Platten festgehalten werden können.

Uebung. I. Versuche mit Quarzplatten.

Man stellt vor *a* eine Natriumflamme, welche der *D*-Linie des Sonnenspectrums entsprechendes Licht liefert (vergl. Spectralanalyse).

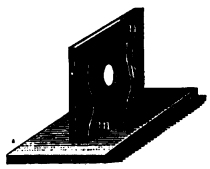
1) In dem Apparat wird der Analysator gedreht. Derselbe zeigt bei einer Umdrehung um 360 Grad zweimal Dunkelheit. Dann sind die Nicols gekreuzt. (Man hat sich direct davon zu überzeugen, dass

in diesen Fällen die Längsdiagonalen der Querschnitte derselben PP (Fig. 175) senkrecht zu einander stehen.) Man bezeichnet die eine oder andere dieser Einstellungen als die Nullstellung.

1 a) Zwischen die gekreuzten Nicols, also wenn das Gesichtsfeld dunkel ist, wird eine Glasplatte geschaltet, die Dunkelheit bleibt bestehen.

2) Zwischen die gekreuzten Nicols wird eine senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte q so geschaltet, dass sie möglichst senkrecht zu der Verbindungslinie der beiden Nicols steht. Es tritt Helligkeit ein. Versuch mit Platten von $1^1/_2$ bis 3 mm Dicke.

Fig. 178.



3) Das Nicol ist nach rechts oder links zu drehen und zu beobachten, wo zuerst Dunkelheit eintritt. Danach bestimmt sich, wenn man hinlänglich dünne Platten anwendet, ob der Körper rechts- oder linksdrehend ist.

4) Man liest die Stellung ab bei Dunkelheit ohne Platte[1]) a,
dasselbe geschieht mit Platte[1]) . . . . . b,
Grösse der Drehung Δ_1 . . . . . $\Delta_1 = b - a$,
Dicke der Platte, gemessen mit dem Sphärometer . . l dm.
Dasselbe wird für eine doppelt so dicke Platte
ausgeführt, die beobachtete Drehung ist . $\Delta_2 = 2(b - a)$.

Die Drehung wächst also proportional der Dicke der drehenden Schicht.

Man nennt die Drehung pro Längeneinheit (1 dm) das Drehungsvermögen und bezeichnet es allgemein mit α. Das Drehungsvermögen für einen Lichtstrahl von der Wellenlänge λ, oder eine Spectrallinie L wird durch α_λ oder α_L bezeichnet.

Ist Δ_l die für eine Länge von l dm beobachtete Drehung, so ist:

$$\alpha = \frac{\Delta_l}{l}.$$

Das Drehungsvermögen α_D unseres Quarzes ist also:

$$\alpha_D = \frac{b - a}{l}.$$

5) Dieselbe Grösse α'_D wird für eine der ersten entgegengesetzt drehende Quarzplatte bestimmt. Das Drehungsvermögen ist für verschiedene Modificationen derselben Substanz gleich und entgegengesetzt.

6) Derselbe Versuch wird für rothes Lithiumlicht, erhalten durch Einführen von Chlorlithium in den Bunsenbrenner und Abblenden der gelben Strahlen des stets vorhandenen Chlornatriums durch ein rothes Glas, ausgeführt; dadurch finden wir α_{Li}.

---

[1]) Alle diese Einstellungen werden mehrfach wiederholt und zwar so, dass man gleich oft von der einen und anderen Seite von Hell zu Dunkel übergeht; das Mittel aller Ablesungen wird genommen und den Berechnungen zu Grunde gelegt.

Es zeigt sich:

$$\alpha_{Li} < \alpha_D.$$

Die Drehung ist für die verschiedenen Farben verschieden, und zwar bei den meisten Substanzen für das Roth kleiner als für das Violett. Man bezeichnet diese Erscheinung als Rotationsdispersion der Polarisationsebenen.

Man muss daher stets angeben, für welche Farbe die mitgetheilte Drehung bestimmt ist. Meist ist dies für das Gelborange der D-Linie der Fall, indem man eine Kochsalzflamme als Lichtquelle verwendet.

Beispiel: $l_1 = 0{,}015$ dm; $a_1 = 5^0$, $b_1 = 38^0$; $\Delta_1 = b_1 - a_1 = 33^0$. $l_2 = 0{,}030$ dm; $a_2 = 5^0$, $b_2 = 71^0$; $\Delta_2 = b_2 - a_2 = 66^0 = 2(b_1 - a_1)$. $\alpha_D = \frac{33}{0{,}015} = 2200^0$ für 1 dm Dicke, 22^0 für 1 mm Dicke (genauer Werth 21,67).

Für Lithiumlicht ergab sich bei $l = 0{,}015$ dm: $a = 5^0$, $b = 29^0$, $\Delta = 24^0$, $\alpha_{Li} = 16^0$ für 1 mm Dicke.

7) Wir ersetzen die homogene Lichtquelle durch eine gewöhnliche weisse Flamme.

8) Wir stellen das analysirende Nicol so, dass das Gesichtsfeld möglichst dunkel erscheint. Stellung a.

9) Wir schalten einen z. B. rechtsdrehenden Quarz ein und drehen das analysirende Nicol nach rechts. Bei keiner Stellung desselben erscheint Dunkelheit, sondern das Gesichtsfeld erscheint der Reihe nach grünblau, blauroth (purpur), orange, roth.

Bei dem Auftreten der röthlichblauen Farbe (der sog. Uebergangsfarbe, empfindlichen Farbe „teinte de passage"), ist das Gesichtsfeld am dunkelsten und der Wechsel der Nüance beim Drehen des Nicols nach rechts und links sehr bedeutend; dreht man nach der Nulllage, so wird die Farbe blau, dreht man nach der anderen Seite, so wird sie roth.

Man liest die Stellung des Analysators für die Stellung, bei der das Gesichtsfeld röthlichviolett ist, ab: b_1. Die Drehung für die Uebergangsfarbe wird mit α_j bezeichnet. Es ist $\alpha_j = b_1 - a$ grösser als $\alpha_D = b - a$ für die D-Linie.

Der Farbenwechsel erklärt sich aus der Dispersion der Polarisationsebene. Für die verschiedenen Farben ist die Lage derselben nach dem Durchgang der Strahlen durch die drehende Substanz verschieden, also wird bei einer bestimmten Lage des analysirenden Nicols von allen im Weiss enthaltenen Farben nur eine vollkommen ausgelöscht, die anderen lagern sich zu einer Mischfarbe zusammen, welche zu der ausgelöschten complementär ist.

Am dunkelsten ist das Gesichtsfeld, wenn der hellste Theil des Spectrums, das Gelb, ausgelöscht ist. Das Gesichtsfeld erscheint in dem eben erwähnten eigenthümlichen röthlichvioletten Ton, der sogenannten „Uebergangsfarbe, empfindlichen Farbe, oder teinte de passage". Bei kleinen Drehungen aus dieser Lage müssen die lebhaftesten Farbenwechsel auftreten, dann dreht man das Nicol nach der Seite, wo das Blau aus-

gelöscht wird, also von der Nulllage fort, so muss das Gesichtsfeld roth, im entgegengesetzten Falle blau erscheinen.

Da $(b - a)$ dem Orange, $(b_1 - a)$ dem Gelb entspricht, so muss, da das Gelb stärker gedreht wird als das Gelborange, $b_1 - a$ grösser als $b - a$ sein, wie in der That soeben gefunden wurde.

Uebung. II. Versuch mit Terpentinöl.

Zu allen Versuchen mit flüssigen drehenden Substanzen dienen Vorrichtungen wie die Fig. 179 abgebildete.

Auf die Glasröhre A, die an beiden Enden eben und genau senkrecht zu ihrer Axe abgeschliffen ist, sind Messingfassungen m_1, m_2 mit Gewinden aufgekittet; über dieselben kann man Ueberfangsschrauben n_1 n_2 schrauben, welche die Glasplatten g_1 und g_2 gegen die abgeschliffenen Enden schwach dagegen drücken.

Nachdem das Rohr vollkommen gereinigt ist, legt man zunächst die Platte g_1 auf und schraubt n_1 über m_1, dann stellt man das Rohr vertical, füllt dasselbe mit Flüssigkeit, bis eine Kuppe vorhanden ist, und legt die zweite Glasplatte g_2 oben auf, so dass keine Luftblase bleibt; darauf schraubt man n_2 über m_2 und wischt sorgfältig die Glasplatten ab.

Fig. 179.

Man legt die Röhre in den Apparat ein und wartet, bis sich die Temperatur im ganzen Rohre ausgeglichen hat, weil sonst Schlieren das Bild verwaschen erscheinen lassen.

Man liest ab für homogenes gelbes Licht:

1) Lage des analysirenden Nicols ohne Röhre . . . . . a[1]).
2) „ „ „ „ mit „ . . . . . b.
Dann ist die Drehung . . . . . $b - a$.
Länge der Röhre . . . . . l dm.
Drehungsvermögen . . . . . $\alpha_D = \frac{b - a}{l}$.
3) Man bestimmt mit dem Pyknometer die Dichte . . . . . d.

Abhängigkeit der Drehung von Dichte und Concentration. Biot hat zuerst darauf hingewiesen, dass die auf die Längeneinheit bezogenen Drehungsvermögen der verschiedenen Substanzen nicht unter einander vergleichbar sind. Bringt man z. B. verschiedene Flüssigkeiten in dieselbe Röhre, so wirken in Folge der verschiedenen Dichte ganz verschiedene Massen auf den Strahl ein. Man berechnet daher die Wirkung, welche die Körper haben würden, wenn sie mit der Dichte 1 vorhanden

[1]) Zweckmässig ist es, auch die entsprechende Lage des Nicols mit Röhre, aber ohne Füllung, zu bestimmen, da die Glasplatten in Folge von Spannungen manchmal drehen. Die beobachtete Lage des Nicols tritt dann an Stelle von a.

wären, d. h. wenn sie soweit verdünnt wären, dass 1 cbcm 1 g enthalten würde. Man dividirt dazu das beobachtete α durch die Dichte d und nennt:

$$\frac{\alpha}{d} = [\alpha]$$

das specifische Drehungsvermögen. Wählen wir als Einheit der Dichte die des Wassers bei 4° C., so ist das specifische Drehungsvermögen die Drehung der Polarisationsebene, welche von 1 g in 1 cbcm vertheilter Substanz in einer Schicht von 1 dm hervorgebracht wird.

Hat man es mit einer Lösung zu thun und ist die Concentration bestimmt durch c, d. i. die Anzahl Gramme activer Substanz in 100 cbcm, so ist in 1 cbcm $c/100$ g enthalten; rufen diese ein Drehungsvermögen α hervor, so würde, wenn in 1 cbcm 1 g enthalten wäre, die Drehung sein:

$$[\alpha] = \frac{\alpha\, 100}{c}$$

und dies ist das specifische Drehungsvermögen der gelösten Substanz.

Wird der Gehalt der Lösung nicht in dieser Weise angegeben, sondern drückt man denselben in Gewichtsprocenten aus, so hat man folgende Berechnung anzustellen.

Es seien $P g$ activer, d. h. drehender Substanz in $E g$ Lösungsmittel enthalten, die Lösung habe das specifische Gewicht d, dann nehmen $(P + E)$ g Lösung $\frac{P+E}{d}$ cbcm ein, und 1 cbcm enthält: $\frac{P}{P+E} d$ Gramm activer Substanz. Ruft diese Menge eine Drehung um α Grad hervor, so erzeugt eine Flüssigkeit, die in 1 cbcm 1 g activer Substanz enthält, eine Drehung:

$$[\alpha] = \alpha : \left(\frac{P}{P+E} d\right) = \alpha \frac{P+E}{Pd}.$$

Ist p der Procentgehalt an activer Substanz in 100 Gewichtstheilen Lösung, so ist $p = 100 \frac{P}{P+E}$, also:

$$[\alpha] = \frac{\alpha\, 100}{p\, d}.$$

Ist q die Menge Lösungsmittel in 100 Gewichtstheilen Lösung, so ist:

$$[\alpha] = \frac{\alpha\, 100}{(100 - q)\, d}.$$

Kennt man umgekehrt $[\alpha]$, α und d für irgend eine Substanz, so kann man p berechnen. Man hat hier also eine Methode zur quantitativen Analyse; es ist:

$$p = \frac{\alpha\, 100}{[\alpha]\, d}.$$

Uebung. III. Versuche mit Zuckerlösungen.

1. Herstellung der Zuckerlösungen. 1) In eine 50 cbcm-Flasche werden 5 g resp. 10 g Zucker eingewogen, darauf Wasser zugesetzt

und nach dem Lösen so weit aufgefüllt, dass die Lösung gerade bis zur Marke steht, dann haben wir Lösungen, die 10 und 20 g in 100 cbcm Volumeneinheiten enthalten, oder 100 und 200 g im Liter.

Bei anderen Substanzen und anderen Concentrationsverhältnissen verfährt man in analoger Weise.

2. Dieselben Beobachtungen wie für das Terpentinöl, werden für die zwei Zuckerlösungen durchgeführt, es ergiebt sich die Drehung und die Dichte für die Lösung mit dem Gehalt von:

$$10\,g \ . \ . \ . \quad \alpha_1 \qquad d_1,$$
$$20\,g \ . \ . \ . \quad \alpha_2 \qquad d_2.$$

3. Berechnung der Drehung. Mit der Zuckerlösung von 10 g Gehalt in 100 ccm ermittelt man $[\alpha]$ und mit diesem Werthe von $[\alpha]$ berechnet man für die Lösung mit 20 g den Procentgehalt p.

Beispiele: 1. Terpentinöl. 1) $a = 1^0$; 2) $b = 65$ nach rechts. $b - a = 64$. $l = 2$ dm; $\alpha_D = 32$. 3) $d = 0{,}87$. $[\alpha]_D = 37$.

2. Zuckerlösungen. Eine Zuckerlösung, die $c = 10$ g Zucker in 100 cbcm enthielt, gab bei einer Rohrlänge von 2 dm die Drehung $13{,}3^0$; also ist $\alpha = 13{,}3/2$ und $[\alpha]_D = \frac{13{,}3 \times 100}{2 \times 10} = 66{,}5$.

Bei einer anderen Zuckerlösung, deren specifisches Gewicht zu 0,991 bestimmt wurde, ergab sich bei einer Länge $l = 2$ dm, $\alpha_2 = 26{,}5/2^0$. Der Procentgehalt dieser Lösung war also $p = \frac{26{,}5 \times 100}{2 \times 66{,}5 \times 0{,}991} = 20$ Proc.

Bei dem Zucker ist das Verhältniss der Drehungen für die Uebergangsfarbe α_j und für die D-Linie $\alpha_j : \alpha_D = 1{,}13$.

Bei den obigen Entwickelungen geht man von der Voraussetzung aus, dass bei der Lösung einer Substanz die drehenden Theilchen nur aus einander gerückt werden, und zwar um so mehr, je verdünnter die Lösung ist, dass aber das Drehungsvermögen eines jeden einzelnen derselben nicht verändert wird. Diese Annahme ist freilich nur angenähert richtig. Zu praktischen Zwecken entwirft man daher Tabellen, welche die einem Procentgehalt p entsprechenden $[\alpha]$ angeben und umgekehrt, oder man stellt entsprechende Interpolationsformeln auf.

Aus den gefundenen Werthen von $[\alpha]$ berechnet sich das moleculare Drehungsvermögen. Das moleculare Drehungsvermögen ist die Drehung, welche eine dem Moleculargewicht entsprechende Menge, vertheilt auf 1 cbcm, in einer Säule von der Längeneinheit hervorrufen würde. Man erhält dasselbe durch Multiplication von $[\alpha]$ mit dem Moleculargewicht M. Um aber zu grosse Zahlen zu vermeiden, dividirt man noch durch 100 und setzt das moleculare Drehungsvermögen $[M]$:

$$[M] = \frac{M[\alpha]}{100}.$$

Bestehen Gesetzmässigkeiten zwischen den Drehungen verschiedener Substanzen, so müssen diese sich auf die molecularen Drehungsvermögen beziehen.

Das moleculare Drehungsvermögen des Zuckers $C_{12}H_{12}O_{11}$ ($M = 332$) ist: $\frac{66{,}5 \times 332}{100} = 221$; das des Terpentinöls $C_{10}H_{16}$ ($M = 136$) ist: $\frac{37{,}0 \times 136}{100} = 50$.

2. Rotationsdispersion.

I. Princip. Da die verschiedenen Farben eine verschieden starke Drehung erfahren (vergl. S. 332), so wird, wie erwähnt, in dem durch eine drehende Substanz gegangenen, ursprünglich geradlinig polarisirten Lichte von einem Nicol immer nur eine bestimmte Farbe ausgelöscht. Zerlegt man also das durch zwei Nicols und eine dazwischen geschaltete drehende Substanz gegangene weisse Licht durch ein Prisma, so erscheint an derjenigen Stelle des Spectrums, welche der ausgelöschten Farbe entspricht, ein dunkler Streifen. Dreht man das analysirende Nicol, so wird bei jeder Stellung desselben eine andere Farbe ausgelöscht: der dunkle Streifen wandert. Liest man die Drehungen des Nicols für die einzelnen Lagen des Streifens von der Nulllage, wo Dunkelheit erscheint, ab, so erhält man die den einzelnen Spectralfarben entsprechenden Drehungen und damit die Rotationsdispersion der drehenden Substanz (vgl. S. 332).

II. Apparat. Der Mitscherlich'sche Polarisationsapparat wird so vor den Spalt eines Spectralapparates gestellt, dass die Strahlen einer vor dem Polarisationsapparate stehenden Gaslampe axial durch diesen und das Collimatorfernrohr gehen. In den Apparat werden auf die oben (S. 330) angegebene Art Quarzplatten oder Röhren mit Zuckerlösung gebracht.

III. **Uebung 1.** 1) Man stellt das Scalenrohr bei parallel gestellten Nicols so, dass ein bestimmter Theilstrich, z. B. 50, auf die Natriumlinie fällt.

2) Man kreuzt beide Nicols, so dass das Gesichtsfeld des Spectralapparates völlig dunkel erscheint und liest die Stellung A_0 des analysirenden Nicols ab.

3) Man bringt eine circa 3 mm dicke, rechtsdrehende Quarzplatte zwischen die beiden Nicols: das Gesichtsfeld wird wieder hell.

4) Man dreht das analysirende Nicol nach rechts herum: ein dunkler Streifen erscheint im Roth und schreitet durch das Spectrum nach dem Blau zu, wo er verschwindet. Bei weiterem Drehen erscheint ein zweiter Streifen im Roth u. s. f.

5) Man liest die Stellungen A_1, A_2, A_3 des analysirenden Nicols ab, welche der Lage des ersten Streifens im Gelb, Grün und Blau[1]) entsprechen. Gleichzeitig liest man die Scalentheile S_1, S_2 S_3 ab, auf denen die Mitte des Streifens liegt.

[1]) Bei Anwendung des schwachen Lampenlichtes sind die Ablesungen im Roth zu schwierig.

6) Man bestimmt für die Scalentheile S_1, S_2, und S_3 nach der für den betreffenden Spectralapparat geltenden Wellenlängencurve die entsprechenden Wellenlängen λ_1, λ_2 und λ_3. Dann sind $D_1 = A_1 - A_0$, $D_2 = A_2 - A_0$, $D_3 = A_3 - A_0$ die den Wellenlängen λ_1, λ_2, λ_3 entsprechenden Drehungen.

Beispiel: $A_0 = 7^0$; $A_1 = 76$, $S_1 = 52$; $A_2 = 87$, $S_2 = 72$; $A_3 = 112$, $S_3 = 90$. Daher $D_1 = 69$, $D_2 = 80$, $D_3 = 105$. Den Scalentheilen, für welche diese Drehungen gelten, entsprechen die Wellenlängen $\lambda_1 = 583$, $\lambda_2 = 526$, $\lambda_3 = 453$.

Uebung 2. 1) Man wägt 49,05 g Zucker ab und löst sie in einem $^1/_{10}$-Literkolben zu 100 cbcm Lösung auf. Damit sich Alles löst, erwärmt man den Kolben im Wasserbade, filtrirt dann die Lösung und füllt damit eine 200 mm lange Röhre.

2) Man legt die Röhre in den Polarisationsapparat und bestimmt wie vorhin für den Quarz die Grösse der Drehung bei denselben Lagen des Streifens.

Man findet die Drehungen D'_1, D'_2, D'_3.

Beispiel: Bei $S_1 = 52$, $S_2 = 72$, $S_3 = 90$ war $A'_1 = 76$, $A'_2 = 88$, $A'_3 = 113$, also da A_0 ungeändert geblieben war: $D'_1 = 69$, $D'_2 = 81$, $D'_3 = 106$, also sehr nahe gleich den entsprechenden Drehungen bei einer 3 mm dicken Quarzplatte.

Bei der Vergleichung der erhaltenen Zahlen findet man folgende zwei Sätze:

1) Zuckerlösungen drehen die verschiedenen Farben ebenso weit auseinander wie Quarzplatten von gewissen Dicken, d. h. Rohrzucker hat dieselbe Rotationsdispersion wie Quarz.

2) Eine Zuckerlösung, welche 16,35 g Rohrzucker in 100 cbcm Lösung enthält, dreht in einer 2 dm langen Schicht ebenso stark wie eine Quarzplatte von 1 mm Dicke.

Allgemeines. Vergleicht man bei verschiedenen Substanzen die Rotationsdispersion, d. h. den Unterschied der Drehungen für zwei Spectrallinien, etwa für die Linien D und F mit der Drehung für eine Spectrallinie, etwa mit der von D, so ist in einzelnen Fällen die Dispersion nahezu proportional mit der Drehung für eine Linie; bei anderen Substanzen ist dies nicht der Fall. So ist z. B. für

Quarz: $[\alpha_D] = 21{,}67^0$ $[\alpha_F] = 32{,}69^0$ $([\alpha_F] - [\alpha_D])/[\alpha_D] = 0{,}51$,
Zucker: $[\alpha'_D] = 66{,}41^0$ $[\alpha'_F] = 101{,}18^0$ $([\alpha'_F] - [\alpha'_D])/[\alpha'_D] = 0{,}52$,

also ist das Verhältniss von Dispersion zwischen D und F zur Grösse der Drehung für D in beiden Fällen fast gleich gross. Dagegen ist für Campher (für eine bestimmte Concentration der Lösungen)

$$[\alpha''_D] = 51{,}94^0 \quad [\alpha''_F] = 99{,}60^0 \quad ([\alpha''_F] - [\alpha''_D])/[\alpha''_D] = 0{,}92.$$

Im ersten Falle ist auch das Verhältniss der Drehungen für die beiden Linien D und F in beiden Substanzen das Gleiche, es ist z. B. auch

$$[\alpha_D] : [\alpha'_D] = [\alpha_F] : [\alpha'_F].$$

Dreht die erste Substanz im entgegengesetzten Sinne wie die zweite (z. B. eine rechtsdrehende Zuckerlösung und eine linksdrehende Quarzplatte), nehmen wir von letzterer eine so dicke Schicht, dass ihre Drehung für die D-Linie gleich und entgegengesetzt derjenigen der ersteren ist, und schalten wir die beiden Substanzen hinter einander, so wird für die D-Linie die Drehung aufgehoben, und ebenso für alle anderen Farben, die Lage der Polarisationsebene ist dieselbe, wie vor dem Eintritt des Strahles in die beiden drehenden Körper.

Man kann also die durch eine Zuckerlösung hervorgerufene Drehung vollständig compensiren durch Einschalten von Quarzplatten von entsprechenden Dicken. Hierauf beruhen alle sogenannten „Compensations-Saccharimeter", von denen wir weiter unten (Seite 344) das Soleil-Ventzke'sche verwenden.

Die specifische Drehung für irgend eine Wellenlänge λ lässt sich nach Boltzmann durch die Formel

$$[\alpha]_\lambda = \frac{A}{\lambda^2} + \frac{B}{\lambda^4}$$

darstellen, wo für Quarz z. B. $A = 7{,}10123$, $B = 0{,}15195$ ist; die λ sind dabei in Millimeter ausgedrückt.

3. Lippich'scher Halbschattenapparat.

Apparat. Die (Fig. 180) von der Lichtquelle kommenden Strahlen gehen durch eine biconvexe Linse C, durchsetzen den Polarisator P, ein Nicol'sches Prisma, einen Polarisator P_1, der die Hälfte des Gesichtsfeldes von P bedeckt, ein Diaphragma pp, fallen auf eine Blende aa, den Analysator A, ein Galilei'sches Fernrohr F, von dem nur das Objectiv gezeichnet ist. Die Linse C wird so gestellt, dass sie ein reelles Bild der Lichtquelle in der Ebene von aa entwirft, das Galilei'sche Fernrohr so, dass es auf die Kante d des Polarisators P_1 eingestellt ist.

Man neigt die Polarisationsebene von P_1 ein wenig gegen diejenige von P durch Drehen von P_1, dann gehen durch die beiden Hälften des Gesichtsfeldes von pp zwei Strahlenbündel, deren Polarisationsebenen ein wenig gegen einander geneigt sind.

Uebung. 1) Man dreht den Analysator, bis beide Hälften des Gesichtsfeldes gleich hell erscheinen[1]) und liest seine Lage α_1 ab.

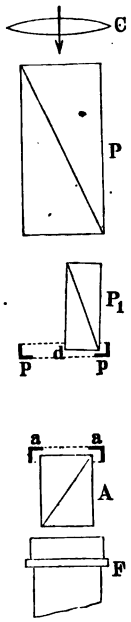
2) Man dreht A um einen grösseren Winkel und überzeugt sich, dass die dabei auftretenden Erscheinungen die gleichen sind, wie beim Laurent'schen Apparat.

[1]) Dies ist aber dann nicht der Fall, wenn das analysirende Nicol auf der Halbirungslinie der Polarisationsebenen von P und P_1 senkrecht steht, da die Polarisationsebene der durch P gegangenen Strahlen beim Durchgang durch P_1 nicht nur eine Aenderung in der Lage erfährt, sondern die Strahlen selbst auch geschwächt werden.

3) Man legt eine Zuckerlösung zwischen pp und aa ein und dreht den Analysator, bis wieder gleiche Helligkeit vorhanden ist: Lage α_2.
Die Drehung ist dann: $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$.

Bemerkung. Der Apparat hat vor demjenigen von Laurent den Vorzug, dass er für jede Spectralfarbe verwendbar ist, während bei dem Laurent'schen bei einer Quarzplatte von bestimmter Dicke dies nur für die Farbe der Fall ist, für welche der Gangunterschied der beiden Strahlen $^1/_2\ \lambda$ beträgt.

Fig. 180.



4. Das Laurent'sche Polaristrobometer (Fig. 181 u. 182, a. f. S.).

Apparat. Als Lichtquelle dient bei diesem Apparat ein Bunsen'scher Brenner VA mit sehr starkem Zug, in dessen Flamme Chlornatrium verdampft. Die Strahlen gehen durch das Diaphragma a (Fig. 182), werden durch die Linse e nahezu parallel gemacht, durch ein Nicol d polarisirt und gehen dann durch ein Diaphragma f, dessen eine Hälfte mit einer parallel zur Axe geschliffenen Quarzplatte bedeckt ist. Das Diaphragma a ist meist noch mit einer Platte aus Kaliumbichromat bedeckt, um die violetten Strahlen des Bunsenbrenners abzuhalten.

Ein genaueres Bild des Diaphragmas giebt Fig. 183 bis 185 (a. f. S.). Die linke Hälfte ist durch die Quarzplatte bedeckt, die rechte dagegen frei.

Die Richtung der Krystallaxe liegt parallel derjenigen Kante AO der Quarzplatte, welche die Oeffnung des Diaphragmas halbirt. Die Dicke der Platte ist so gewählt, dass die parallel und senkrecht zur Axe der Quarzplatte polarisirten, durch sie hindurchgegangenen Strahlen des Natriumlichtes einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge erlitten haben. Ist dann die Polarisationsebene OB des nicht durch die Quarzplatte gegangenen Lichtes um einen Winkel α gegen OA geneigt, so ist diejenige des durch die Quarzplatte gegangenen OB' um denselben Winkel α gegen OA geneigt, ist aber auf der anderen Seite von OA wie OB gelegen. Zwischen die Quarzplatte und das analysirende Nicol g wird die mit der zu untersuchenden Substanz gefüllte Röhre pp geschaltet. Ein Galilei'sches Fernrohr hi dient zum Einstellen auf die Quarzplatte.

Das polarisirende Nicol d ist mit einem Arme J verbunden, der sich längs einer kleinen Theilung K verschiebt. Man kann dadurch die Polarisationsebene von d entweder parallel AO stellen oder gegen AO um einen kleinen Winkel α neigen.

Das analysirende Nicol g ist mit dem Fernrohr hi mittelst des Armes G drehbar. Bei der Drehung bewegt sich ein mit einem Kreisnonius

Fig. 181.

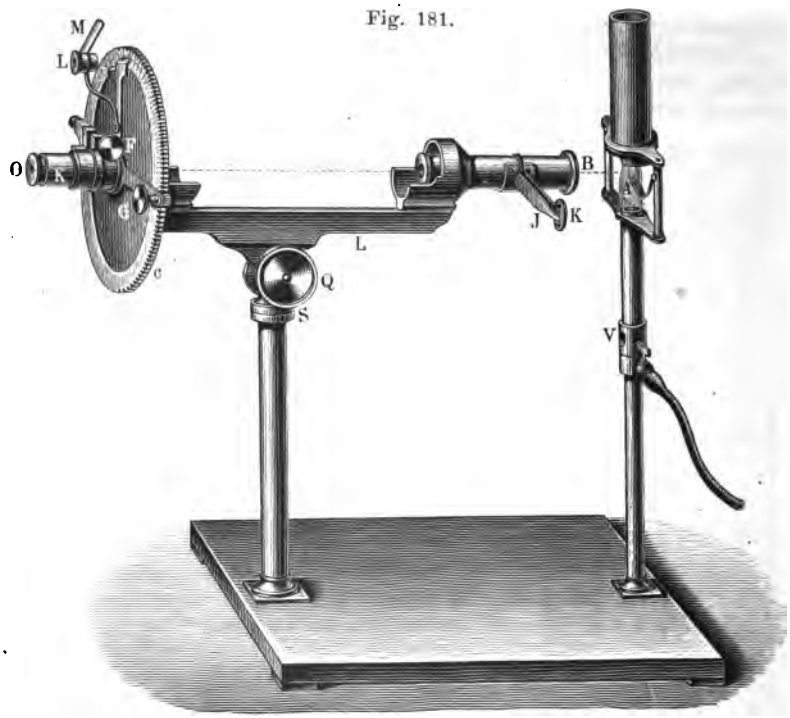
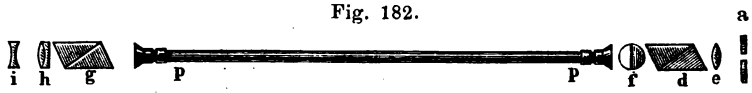


Fig. 182.



(s. diesen S. 7) versehener Arm auf der Kreistheilung, der durch die Lupe L abgelesen wird.

Fig. 183.

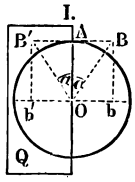


Fig. 184.

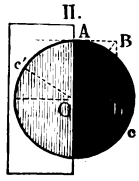
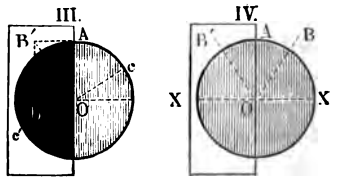


Fig. 185.



Uebung. 1) Man stellt zunächst die Polarisationsebene P des Polarisators durch Drehen an dem Arm J parallel $A\,O$, d. h. parallel

zu der Axe des Quarzes; dann erscheinen bei jeder Stellung des analysirenden Nicols die beiden Hälften des Gesichtsfeldes gleich hell. Die Intensität selbst schwankt beim Drehen um 180° zwischen einem Maximum und Null.

2) Man dreht den Polarisator aus der ersten Lage, so dass seine Polarisationsebene OB einen Winkel α mit OA bildet. Die durch die beiden Hälften des Diaphragmas gegangenen Strahlen sind polarisirt, ihre Polarisationsebenen OB und OB' bilden einen Winkel von 2α mit einander.

Man dreht das analysirende Nicol g, dessen Polarisationsebene $c'c$ entspreche, dann treten die Erscheinungen in II, III, IV ein. In der Lage II wird das durch die rechte Seite gegangene Licht, in der Lage III das durch die linke Seite des Diaphragmas gegangene Licht ausgelöscht.

In der Lage IV, die zwischen beiden Stellungen II und III liegt, in der die Polarisationsebene des analysirenden Nicols die Lage XX hat, gehen von dem nach OB und OB' polarisirten Licht gleiche Bruchtheile durch das analysirende Nicol, die beiden Hälften erscheinen gleich dunkel.

Diese Stellung dient als Nullstellung. Bei kleiner Drehung nach rechts und links aus dieser Lage werden abwechselnd die linke und die rechte Seite dunkel, man kann die Lage daher sehr genau fixiren [1]).

Je grösser die zu Gebote stehende Helligkeit ist, je klarer etwa die untersuchte Lösung ist, um so kleiner kann man α machen und um so grösser ist die Empfindlichkeit.

Die grössere Genauigkeit der Einstellung auf gleiche Helligkeit gegenüber der Einstellung auf Dunkelheit beim Mitscherlich'schen Apparat beruht darauf, dass in den beiden Hälften des Gesichtsfeldes die Helligkeiten bei der Drehung des analysirenden Nicols sich in entgegengesetztem Sinne ändern; die der einen nimmt zu, wenn die der anderen abnimmt.

3) Man stellt auf gleiche Helligkeit der beiden Hälften ein und schaltet eine drehende Substanz ein (Quarzplatte); dann verschwindet die Gleichheit.

4) Man dreht das analysirende Nicol, bis man wieder Gleichheit zwischen den beiden Dunkelstellungen erhält, die gemessene Drehung des Analysators giebt die gesuchte Drehung.

Durch die drehende Substanz wird in den beiden Hälften des Gesichtsfeldes die Polarisationsebene OB und OB' um gleichviel gedreht, man muss also, um die symmetrische Stellung der Polarisationsebene des Analysators zu beiden wieder zu erhalten, diesen um ebenso viel nachdrehen.

5) Man schaltet mit Zuckerlösung gefüllte Röhren ein und verfährt wie bei der Quarzplatte.

---

[1]) In einer Stellung, die um 90° von dieser Mittelstellung IV entfernt ist, sind abermals beide Hälften gleich hell, man muss aber sehr viel weiterdrehen, um für eine der beiden Hälften bis zur Dunkelheit zu gelangen, die Einstellung ist also viel weniger empfindlich.

(Es empfiehlt sich hier, eine Lösung von einer dem Praktikanten unbekannten Concentration zu geben, deren Concentration er aus der Grösse der Drehung ermittelt.)

5. Das Wild'sche Polaristrobometer.

I. Vorübung. 1) Man stellt den Mitscherlich'schen Apparat so auf, dass das mit dem Kreise versehene Nicol als Polarisator dient. Vor dasselbe wird eine Natriumflamme aufgestellt. 2) Zwischen die beiden gekreuzten Nicols wird in der Nähe des Analysators eine Savart'sche Doppelplatte, die aus zwei über einander gekitteten, passend geschliffenen Kalkspathplatten besteht, gebracht, so dass ihre Grenzfläche senkrecht zu den einfallenden Strahlen steht. Die Platte wird um die auf ihrer Fläche senkrecht stehende Linie so gedreht, dass die in dem Gesichtsfelde auftretenden schwarzen Streifen (isochromatischen Curven, Fig. 186) verschwinden. 3) Dreht man dann den Polarisator, so erscheinen sie wieder. Man liest die Stellung des Polarisators, bei der die Streifen verschwunden sind, ab; sie sei a.

Fig. 186.

Nur bei der a entsprechenden Lage der Polarisationsebene des einfallenden Lichtes verschwinden die Streifen. Dreht man schnell durch diese Lage hindurch, so scheinen die Streifen plötzlich ihre Lage zu wechseln, indem an die Stelle der früheren Helligkeitsmaxima Helligkeitsminima treten.

4) Man schaltet zwischen den Polarisator und die Doppelplatte eine beispielsweise linksdrehende Quarzplatte ein; die Streifen erscheinen wieder. Man muss das vordere polarisirende Nicol nach rechts drehen, um wiederum das Verschwinden der Streifen herbeizuführen; Lage b.

Die Drehung der Platte beträgt dann $b - a$ Grade nach links.

Man hat durch die Rechtsdrehung des Nicols bewirkt, dass die durch die Quarzplatte hervorgerufene Linksdrehung der Polarisationsebene gerade aufgehoben ist.

Man benutzt hier das Verschwinden der Streifen zur Bestimmung der Lage der Polarisationsebene.

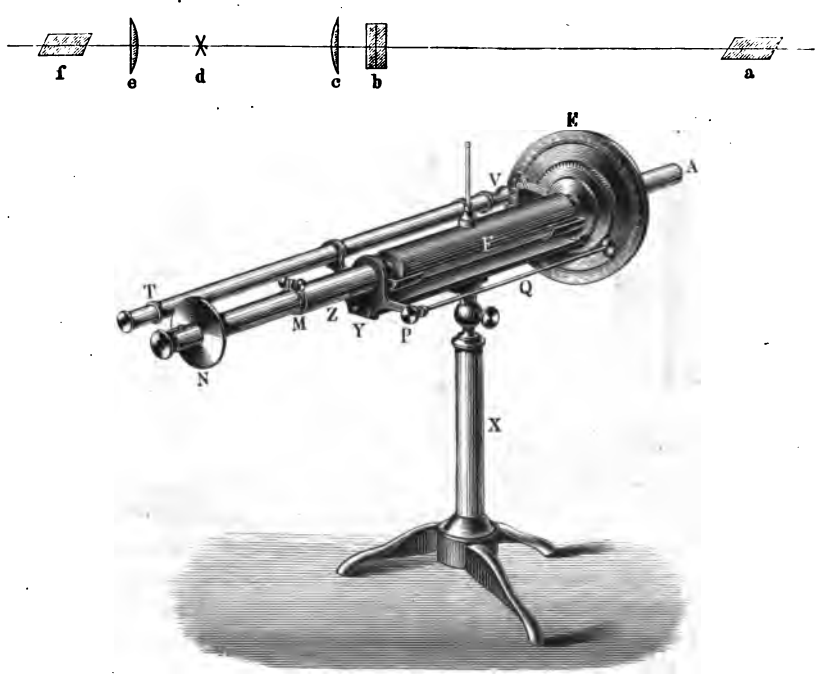
II. Apparat. Als Lichtquelle dient bei diesem Apparat die durch Chlornatrium gefärbte Flamme eines Bunsenbrenners. Der Apparat (Fig. 187) besteht aus dem mit einem Theilkreise verbundenen polarisirenden Nicol a, das durch die Triebstange Q mit dem Knopf P an einem Nonius vorbeigedreht wird, aus dem Lager für die Röhre F, der Savart'schen Platte b, dem analysirenden Nicol f und einem kleinen Fernrohr ce, mit dem man die Savart'sche Doppelplatte betrachtet. Die in der Platte entstehenden Streifen verschwinden bei feststehendem

Analysator, wenn die Lage der Polarisationsebene des einfallenden Lichtes durch Drehen an *P* eine bestimmte geworden ist.

Uebung. 1) Man stellt durch Drehen an dem Knopf *P* das polarisirende Nicol auf Verschwinden der in der Quarzplatte entstehenden Streifen ein.

2) Dann schaltet man die drehende Substanz ein. Dadurch wird etwa die Polarisationsebene des einfallenden Lichtes um Δ Grade nach rechts gedreht. Soll sie gegen die Kalkspathplatten wieder dieselbe Lage besitzen, so muss das polarisirende Nicol um Δ Grade nach links gedreht werden, was man 3) dadurch erreicht, dass man die Triebstange

Fig. 187.



nach rechts herum dreht, so dass man stets der Triebstange (Fig. 187) die Drehung ertheilt, welche der Drehung der Substanz entspricht.

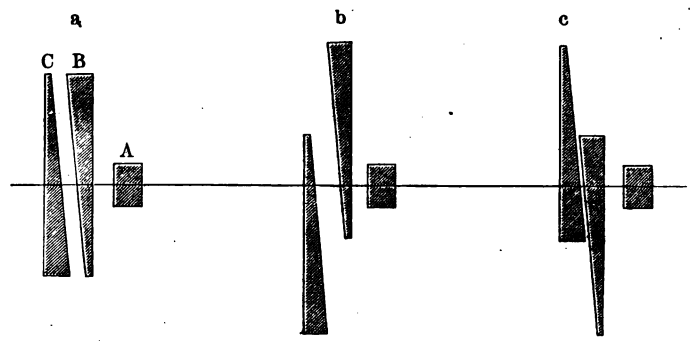
4) Diese Drehung liest man mit einem Fernrohr *T* an dem Kreise *E* ab. Die Theilung desselben wird durch eine neben *V* angebrachte Lampe erleuchtet, deren Strahlen durch einen unter 45° gegen die Axe des Fernrohrs *T V* geneigten Spiegel auf die Theilung geworfen werden.

Uebung: Ablesung ohne drehende Substanz: *a*.
Ablesung mit Substanz: *b*.
Drehung: $a - b$.

6. Das Saccharimeter von Soleil-Ventzke.

I. Princip. Der Soleil-Ventzke'sche Apparat dient speciell zur Untersuchung des Gehaltes von Zuckerlösungen und beruht darauf, dass man die durch eine gewisse Menge der Zuckerlösung bewirkte Rechtsdrehung der Polarisationsebene durch Einschaltung einer linksdrehenden Quarzplatte von gewisser Dicke compensirt (daher wird er auch Compensations-Saccharimeter genannt, vergl. S. 338). Die Quarzplatte von variabler Dicke wird durch zwei aus linksdrehendem Quarz geschnittene Keile (Fig. 188 a, b, c) gebildet. In der Stellung a ist die Gesammtdicke beider Keile gleich der der rechtsdrehenden Quarzplatte *A*. Bei b ist sie geringer, bei c grösser. Bei a dreht *A B C* nicht, bei b nach rechts, bei c nach links.

Fig. 188.



II. Apparat (Fig. 189). Das bei *d* einfallende weisse Licht einer Gaslampe wird durch das Nicol'sche Prisma 1 polarisirt. Durch die senkrecht zur optischen Axe geschnittene Quarzplatte 2 wird die Polarisationsebene der verschiedenen Farben verschieden stark gedreht (vgl. die Versuche 7 bis 9, S. 332). 3 ist eine polarisirende Vorrichtung mit vertical gestelltem Hauptschnitt [1]) (achromatisirtes Kalkspathprisma), welche auf der einen Seite convex geschliffen ist, um die durch die Blende bei *d* gehenden Strahlen möglichst parallel zu machen. Die Strahlen gelangen auf die Doppelquarzplatte 4, die aus einer linksdrehenden und einer rechtsdrehenden, an einer verticalen Fuge zusammenstossenden Hälfte besteht (vergl. die darunter skizzirte Vorderansicht). Diese Platte ist 3,75, bei manchen Apparaten 7,50 mm dick. 5 sind die oben vergrössert gezeichneten Quarzkeile, die durch die Schraube *B* mittelst zweier Zahnstangen in entgegengesetzter Richtung

[1]) Bei manchen Apparaten sind die beiden Theile 1 und 2, durch deren gegenseitige Stellung die Farbe, in der das Gesichtsfeld erscheint, bedingt ist, am anderen Ende des Apparates angebracht, 3 ist der eigentliche Polarisator.

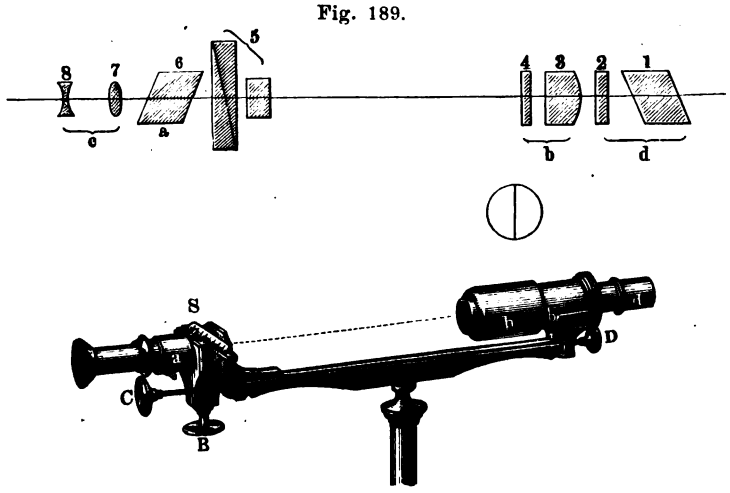
bewegt werden können, und die ihnen vorgesetzte, rechtsdrehende Quarzplatte (*A* in Fig. 188).

Die Stellung der Quarzkeile wird an der mit Nonius versehenen Scala *S* abgelesen.

Zwischen 4 und 5 wird die die Zuckerlösung enthaltende Röhre geschaltet. Bei 6 ist ein zweites als Analysator dienendes Nicol'sches Prisma eingeschaltet, welches so steht, dass das durch das Galilei'sche Fernrohr 7 und 8 blickende Auge, bei richtiger Einstellung des Apparates, beide Hälften gleich gefärbt und zwar in der empfindlichen Farbe sieht.

Das durch das Nicol'sche Prisma 1 polarisirte, durch 2 und 3 in die farbigen Bestandtheile aufgelöste weisse Licht der Lampe fällt auf die Doppelquarzplatte 4, deren Dicke so gewählt ist, dass die mittleren Spectralfarben um 90° (bei 3,75 mm Dicke), bezw. um 180° (bei 7,50 mm Dicke) in der einen Hälfte nach rechts, in der anderen nach links gedreht erscheinen. Beide Hälften sind also bei gekeuzten bezw. parallelen Polarisationsebenen von Polarisator und Analysator 6 immer gleich gefärbt;

Fig. 189.



durch Drehen an 2 und 3 wird bewirkt, dass beide Hälften in der empfindlichen Farbe erscheinen. Wird zwischen 4 und 5 eine rechtsdrehende Substanz eingeschaltet, so muss, um die beiden Hälften wieder gleichfarbig zu machen, durch Verstellen der linksdrehenden Quarzkeile eine grössere bezw. geringere Quarzdicke eingeschaltet werden, je nachdem die Substanz rechts- oder linksdrehend ist.

1. Aichen der Scala. Eine Rohrzuckerlösung, welche 16,35 g Rohrzucker in 100 cbcm Lösung enthält, dreht, in einer Schicht von 2 dm angewendet, die Polarisationsebene aller Farben ebenso wie eine Quarzplatte von 1 mm Dicke (vergl. S. 337). Dies benutzt man zur Aichung der an dem Soleil-Ventzke'schen Apparat angebrachten

Scala, sofern dieselbe nicht schon so eingerichtet ist, dass sie direct den Zuckergehalt angiebt.

Uebung. 1) Man fertigt nach den Vorschriften S. 335 eine Rohrzuckerlösung von 16,35 g in 100 cbcm Lösung und füllt damit eine 2 dm lange Untersuchungsröhre. Gestattet der Apparat nur das Einlegen von 1 dm langen Röhren, so ist die Concentration der Lösung doppelt so stark zu machen.

2) Durch Drehen der Schraube B färbt man die beiden Gesichtshälften zunächst angenähert gleich.

3) Durch Drehen an dem Theile d, Fig. 189, stellt man die Uebergangsfarbe (S. 332) in beiden Gesichtshälften her.

4) Man macht eine Reihe von Einstellungen auf gleiche Färbung der beiden Hälften, liest die Stellung des Nonius an der Scala ab: a_1, a_2 . . . ., und bildet das Mittel a.

5) Man legt die Röhre ein und bestimmt wieder einige Male die Noniusstellung A_1, A_2, A_3 . . . bei Farbengleichheit und bildet das Mittel A. Dann ist die Drehung einer 1 mm dicken Quarzplatte, oder einer 16,35 procentigen Rohrzuckerlösung $D = A - a$.

Beispiel: $a = 5, 6, 4$ links, Mittel $a = 5$; $A = 98, 93, 95$ rechts, Mittel 95; $D = 100$.

2. Bestimmung des Procentgehaltes von Zuckerlösungen. Giebt eine Zuckerlösung vom Procentgehalt p Farbengleichheit der beiden Gesichtshälften bei der Noniusstellung x, so ist

$$p = \frac{x \,.\, 16{,}35}{100}.$$

Die Uebung gestaltet sich wie unter 1.

Bemerkung. Ist der Procentgehalt p so gross, dass die grösste Dicke der Quarzkeile zur Compensation der Drehung nicht ausreicht, so muss man eine entsprechend kürzere Röhre verwenden.

Allgemeines.

Für eine ganze Reihe von Körpern ist in der oben beschriebenen Weise ein Drehungsvermögen nachgewiesen und gemessen worden. Man kann dieselbe in folgende zwei Classen theilen:

I. Körper, die in krystallisirter Form (aus dem regulären und den optisch-einaxigen Systemen) das Vermögen besitzen, die Polarisationsebene zu drehen und diese Eigenschaft verlieren, sobald sie durch Schmelzen oder Lösen in den amorphen Zustand übergeführt werden. Bei ihnen rührt die Drehung von der Art des Aufbaues der Krystalle aus den Molecülen her. Hierher gehören: Quarz, Zinnober, Natriumchlorat.

Die optisch-einaxigen Krystalle zeigen nur für Strahlen, die sie in der Richtung der Hauptaxe und in Richtungen, die ganz wenig gegen dieselbe geneigt sind, durchsetzen, eine Drehung.

Von den oben erwähnten Körpern lassen sich meist rechts- und linksdrehende Krystalle darstellen, die sich in vielen Fällen durch eine Hemiëdrie resp. Tetartoëdrie unterscheiden, die bei den rechtsdrehenden Körpern eine rechte, bei den linksdrehenden eine linke ist.

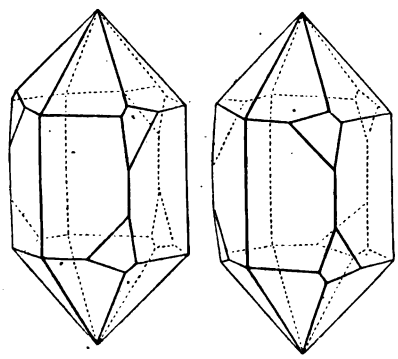
Dies ist z. B. beobachtet worden bei Quarz, Fig. 190 und 191, Natriumperjodat, Bleihyposulfat, Guanidincarbonat, Maticocampher etc.

II. Körper, die auch als Flüssigkeiten oder in Lösungen oder als amorphe nach dem Schmelzen erstarrte Körper oder im dampfförmigen Zustande eine Drehung zeigen. Diese drehenden Substanzen sind sämmtlich Kohlenwasserstoffverbindungen.

Diese Substanzen zeigen im flüssigen und gasförmigen Zustande ein nahezu gleiches specifisches Drehungsvermögen. Dies beweist, dass die Drehung hier durch eine besondere Anordnung der Atome im Molecül und nicht etwa durch eine besondere Anordnung der letzteren zu Molecülaggregaten bedingt ist.

Die bis vor Kurzem bekannten drehenden Substanzen entstammten entweder direct dem pflanzlichen oder thierischen Organismus oder waren durch chemische Processe aus solchen Substanzen gewonnen. Erst in neuerer Zeit hat man auf rein synthetischem Wege drehende Substanzen dargestellt, so Jungfleisch Weinsäure, Lewkowitsch Mandelsäure, Ladenburg drehendes Coniin, E. Fischer Traubenzucker u. s. f.

Fig. 190. Fig. 191.



Rechtsdrehend. Linksdrehend.

Viele inactive Körper können als eine Mischung, resp. eine Verbindung zweier activer angesehen werden, die mit dem betrachteten Körper isomer sind. So entsteht die inactive Traubensäure aus Rechts- und Linksweinsäure. Um aus dem inactiven, aus zwei activen gebildeten Körper die activen abzuscheiden, schlägt man verschiedene Wege ein.

1. Man krystallisirt Salze oder Verbindungen des betreffenden Körpers und sucht die Krystalle mit rechts- und linkshemiëdrischen Flächen aus. Man kann auch eine übersättigte Lösung des betreffenden Körpers mit einem rechts- oder linkshemiëdrischen Krystalle berühren, dann scheidet sich nur die ihm entsprechende Modification ab. Aus dem Natriumammoniumsalz der natürlichen Traubensäure scheiden sich z. B. die rhombischen Krystalle mit den bekannten hemiëdrischen Flächen aus.

2. Man verbindet den Körper (etwa Traubensäure) mit einem anderen activen Körper (etwa Cinchonin). Dann sind oft die Löslichkeitsverhältnisse der beiden entstehenden Modificationen verschieden.

3. Man versetzt die fragliche Substanz mit Fermenten und einer geeigneten Nährflüssigkeit. Dann zersetzt das Ferment überwiegend die mit dem einen Drehungsvermögen begabte Substanz. Je nach der Art des die Zersetzung einleitenden Pilzes sind die erzeugten Modificationen verschieden.

So hat Lewkowitsch durch Einsäen von *Penicillium glaucum* aus inactiver Mandelsäure Rechtsmandelsäure gewonnen, durch Wachsenlassen von *Saccharomycetes ellipsoïdeus* und eines Schizomyceten (*Vibrio?*) Linksmandelsäure erhalten.

Tritt ein Körper im rechts- und linksdrehenden Zustande auf, so sind die beiden Drehungsvermögen gleich gross.

Zur Erklärung der Drehung ist die Annahme einer ungleichförmigen Verdichtung des Aethers um die Körpermolecüle nöthig; dies erfordert einen bestimmten molecularen Bau der Substanz.

Drehende organische Körper haben stets ein asymmetrisches Kohlenstoffatom. Die Thatsachen haben bisher diese Hypothese insofern bestätigt, als keine drehende Substanz ohne asymmetrisches Kohlenstoffatom bekannt ist. Dagegen drehen viele Körper mit asymmetrischen Kohlenstoffatomen nicht. Die Asymmetrie der Kohlenstoffatome ist jedenfalls nur eine der Bedingungen zum Entstehen der Activität.

Fig. 192.

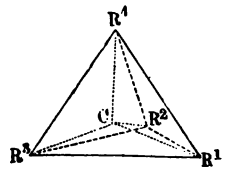
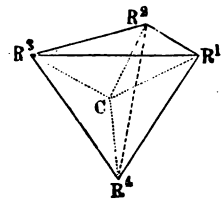


Fig. 193.



Hat ein Körper von dem Typus CR_4 das Kohlenstoffatom in der Mitte und die vier mit demselben verbundenen Radicale R an den vier Ecken eines Tetraëders, dann wird, wenn die vier Radicale alle unter einander verschieden sind, wegen ihrer ungleichen Anziehung sich jedes derselben in einer anderen Entfernung vom Kohlenstoffatome befinden. Eine solche Combination $CR_1R_2R_3R_4$ (Fig. 192 und 193) entspricht einem irregulären Tetraëder (ohne Symmetrieebene), das in zwei enantiomorphen Formen auftreten kann. Dieselben zeigen in Bezug auf eine Axe, die parallel zu einer dieselben Elemente verbindenden Kante (etwa $R.R_3$) geht, eine schraubenförmige Anordnung der vier Ecken, bei der einen nach rechts, bei der anderen nach links gewunden.

Wir geben einige Beispiele für active Verbindungen mit einem asymmetrischen Kohlenstoffatom, das durch *C bezeichnet ist, für inactive mit *C-Atom und inactive mit einem nicht asymmetrischen C-Atom:

1. Aethylidenmilchsäure activ: $(CH_3) - *CH(OH) - (COOH)$
   Aethylenmilchsäure inactiv: $(CH_2OH) - CH_2 - COOH$
   Propylenglycol inactiv: $(CH_3) - *CH(OH) - (CH_2OH)$
2. Weinsäure activ: $(COOH) - *CH(OH) - [*CH(OH) - (COOH)]$
   Bernsteinsäure inactiv: $(COOH) - CH_2 - (CH_2 - COOH)$
   Erythrit inactiv: $(CH_2OH) - *CH(OH) - [*CH(OH) - CH_2OH]$.

Kohlenstoffverbindungen, die ein oder zwei Kohlenstoffatome enthalten, sind wohl sämmtlich inactiv, obwohl viele derselben asymmetrische Kohlenstoffatome enthalten, wie z. B. das Natriumnitroäthan, $*CH.Na(NO_2)(CH_3)$, und andere mehr.

Die folgende Zusammenstellung enthält nach Landolt für einige Verbindungen die verschiedenen Modificationen.

Activ		Inactiv	
Rechtsdrehend	Linksdrehend	Durch Verbindung gleicher Molecüle der Rechts- u. Links-Modification	In Folge anderen räumlichen Baues des Molecüls
Rechtsweinsäure.	Linksweinsäure.	Traubensäure.	Mesoweinsäure.
Aepfelsäure aus Rechtsweinsäure.	Natürliche Aepfelsäure.	Aepfelsäure aus Traubensäure.	Aepfelsäure aus Bernsteinsäure.
Active Aethylidenmilchsäure (Paramilchsäure).	—	—	Inactive Aethylidenmilchsäure, Gährungsmilchsäure.

Geht man von drehenden Substanzen aus und stellt Derivate derselben dar, so können zwei Fälle eintreten:

1. Das Derivat enthält kein asymmetrisches Kohlenstoffatom, es ist inactiv.
   Active Weinsäure liefert inactive Bernsteinsäure.
2. Das Derivat enthält noch ein asymmetrisches Kohlenstoffatom, dann ist es meist activ, oft aber auch inactiv.

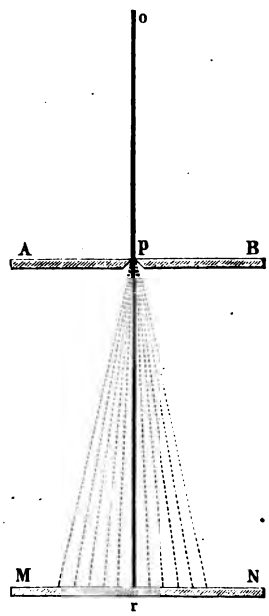
X. Interferenz des Lichtes.

1. Bestimmung der Wellenlänge λ der Lichtstrahlen mit dem Gitter.

Gebraucht wird: Spectrometer; kleines Prisma; Glasgitter; Gaslampe; Bunsenbrenner; Natrium- und Lithiumchlorid; Mikroskop; getheilte Glasplatte.

I. Einleitung. Fällt auf einen Spalt eine Lichtwelle von homogenem Licht, z. B. die von einer Natriumflamme ausgehende, so verwandelt sich das den Spalt erfüllende Stück der Welle in eine Lichtquelle, d. h. von jedem Punkte des Spaltes breitet sich nach allen Seiten Licht aus (Huygens'sches Princip, Fig. 194), der einfallende Strahl wird gebeugt.

Fig. 194.

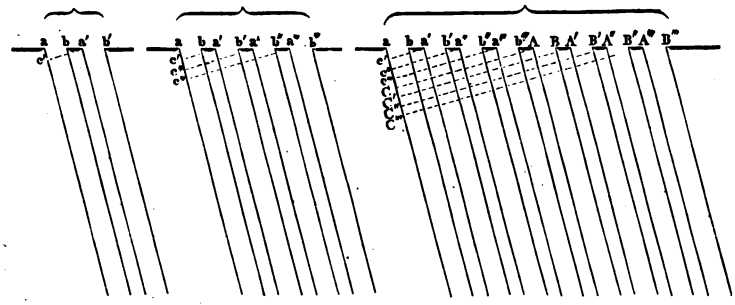


Wir vereinen die in einer bestimmten Richtung ausgehenden, unter einander parallelen Strahlen durch eine in ihren Weg gestellte Linse zu einem Bilde des Spaltes und untersuchen die Helligkeit desselben.

Durch Einschaltung der Linse werden die Gangunterschiede zwischen den einzelnen Strahlen nicht geändert. Auf die Verhältnisse, die eintreten, wenn wir nur einen Spalt ab, Fig. 195, haben, gehen wir hier nicht ein. Wir nehmen an, es seien zwei Spalte ab und $a'b'$ gegeben. Von jedem der beiden Spalte gehen Bündel paralleler Strahlen aus, welche verschieden stark gegen das Loth auf der Spaltebene geneigt sind. Wir vereinigen zunächst Strahlen derjenigen zwei Bündel, bei denen der Gangunterschied zwischen den am weitesten links gelegenen Strahlen jedes derselben $ac' = \frac{1}{2}\lambda$, d. h. gleich der halben Wellenlänge ist, dann heben sich diese beiden Strahlen auf, es tritt Dunkelheit auf, und da derselbe Gangunterschied auch für alle anderen von entsprechenden Stellen ausgehenden Strahlen vorhanden ist, so

heben sich die ganzen Strahlenbündel auf; ist der Gangunterschied der beiden zuerst erwähnten Strahlen $= \lambda$, so verstärken sich dieselben und ebenso alle anderen paarweise, es tritt Helligkeit auf. Bilden die Strahlenbündel einen immer grösseren Winkel mit dem auf der Spaltebene errichteten Loth, so wird der Gangunterschied immer grösser, die Gangunterschiede nehmen die Werthe $^3/_2\,\lambda$, $2\,\lambda$, $^5/_2\,\lambda$ an und es müssen helle

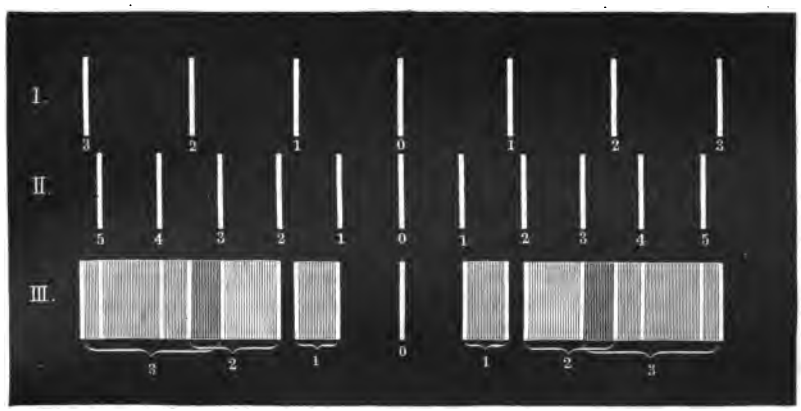
Fig. 195.



und dunkle Stellen auf dem Schirme abwechseln; je kleiner der Abstand $a\,a'$ ist, um so stärker müssen die Strahlen geneigt sein, damit der Gangunterschied $a\,c'$ eine Wellenlänge λ beträgt.

Je kleiner ferner die Wellenlänge λ ist, um so kleiner braucht auch die Neigung der Strahlen zu sein, damit $a\,c' = \lambda$ wird.

Fig. 196.



Bei mehr als zwei Spalten treten ähnliche Verhältnisse wie bei zwei Spalten ein, und wir erhalten ebenfalls eine Reihe von hellen und dunklen Stellen.

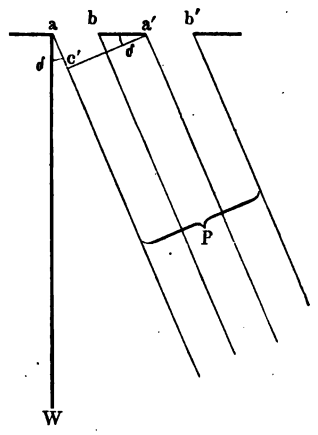
Fällt weisses Licht auf zwei Spalte, so erhalten wir auf einem in den Weg der gebeugten Strahlen gestellten Schirm Spectra, bei denen das Violett (II), da es der kleinsten Wellenlänge entspricht, und daher

bei der kleinsten Neigung der Strahlen ein Maximum der Helligkeit liefert, am nächsten dem direct durchgehenden Strahl (o) liegt, das Roth, (I) als der grössten Neigung der Strahlen entsprechend, dagegen am weitesten von demselben abliegt. Weiter von dem gerade durchgehenden Strahl abliegende Spectren greifen über einander.

Dasselbe tritt bei einer grossen Anzahl von Spalten ein. Hier ist die Erscheinung lichtstärker, und zu gleicher Zeit fällt eine Reihe hier nicht zu erörternder Complicationen fort, die bei Anwendung von nur wenigen Spalten sich zeigen.

Man nennt solche Reihen von Spalten ein Gitter; die von einer dunklen Stelle und einem Zwischenraum eingenommene Strecke $C = aa' = a'a'' = a''a'''\ldots$ heisst die Gitterconstante; diese und nicht etwa die Breite des dunklen oder des hellen Zwischenraumes ist für die Lage und die Breite der Spectren maassgebend; die Spectren bezeichnet man als das erste, zweite, dritte Gitterspectrum, bei ihnen beträgt der Gangunterschied zwischen entsprechenden Strahlen 1, 2, 3 ... Wellenlängen, man zählt sie von dem direct durchgegangenen Strahl an, der als das o^{te} Spectrum bezeichnet wird.

Fig. 197.



Nennen wir δ den Winkel zwischen der Normalen aW (Fig. 197) auf dem Spalt und den parallelen Strahlen P, und ist die Gitterconstante $aa' = C$, so tritt stets Helligkeit auf, sobald

$$C \sin\delta = ac' = \lambda \text{ oder } = 2\lambda \text{ oder } = 3\lambda$$

ist, d. h. wenn

$$C \sin\delta_n = n\lambda,$$

wo δ_n die Ablenkung für den untersuchten Strahl im n^{ten} Spectrum ist und n eine ganze Zahl bedeutet.

Statt der $\sin\delta$ können aber für kleine Winkel auch die Winkel δ, gemessen durch die Kreisbögen, eintreten, also die in gewöhnlichem Winkelmaass gemessenen Winkel dividirt durch 57,296, und man findet dann

$$C\delta_n = n\lambda.$$

Die dem n^{ten} Maximum entsprechende Neigung der Strahlen verhält sich zu der dem ersten entsprechende wie

$$\delta_1 : \delta_n = 1 : n.$$

Beobachten wir weiter die Ablenkungen δ'_n und δ''_n, wie sie in irgend einem Spectrum zwei verschiedenen Spectrallinien mit den Wellenlängen λ' und λ'' zukommen, so ist

$$C\delta'_n = n\lambda' \text{ und } C\delta''_n = n\lambda''$$
$$\text{oder } \delta'_n : \delta''_n = \lambda' : \lambda'',$$

d. h. es verhalten sich die Ablenkungen wie die Wellenlängen. Das von einem Gitter entworfene Spectrum heisst Normalspectrum, da die Ablenkungen der einzelnen Strahlen proportional den Wellenlängen sind.

II. Apparat. Derselbe besteht aus einem Spectrometer, dessen Fernrohre senkrecht zur Drehungsaxe gestellt sind (s. S. 256), auf dessen Tisch man ein Prisma oder ein Gitter aufstellen kann, etwa eine Glasplatte, in die in gleichen Abständen von einander Linien eingeritzt sind; die dabei entstehenden Furchen entsprechen den dunklen Stellen des Gitters.

III. **Uebung.** 1. Beobachtung. 1) Man stellt zunächst das Prisma auf und überzeugt sich, dass in dem von diesem erzeugten Spectrum das Roth am wenigsten, das Violett am stärksten abgelenkt ist, und dass das Roth sehr schmal, das Violett sehr breit ist.

Fig. 198.

2) Man stellt das Glasgitter *M* statt des Prismas (Fig. 198) auf und richtet das Fernrohr *F* direct auf den Spalt *d*. Dreht man es nach rechts oder links, so sieht man Spectra, deren rothe Enden am stärksten, deren violette am wenigsten abgelenkt sind, das Gelb liegt etwa in der Mitte des Spectrums.

2. Senkrechtstellen des Gitters. Um Messungen mit dem Gitter vornehmen zu können, muss man dasselbe senkrecht zur Collimatoraxe stellen. (Auf Benutzung des Minimums der Ablenkung bei der Bestimmung der Wellenlängen gehen wir hier nicht ein.) 1) Man setzt in das Beobachtungsfernrohr ein Gauss'sches Ocular ein, resp. verwendet die oben erwähnte Glasplatte (S. 256).

2) Man stellt vor den Spalt eine Gaslampe und stellt das Fadenkreuz direct auf den Spalt ein.

3) Man stellt das Gitter auf das Tischchen und dreht es so lange, bis das direct gesehene Fadenkreuz sich mit seinem Spiegelbilde am Gitter deckt.

3. Messung. a) Man stellt das Fadenkreuz auf den Spalt ein und liest die Stellung des Fernrohres ab; Ablesung: α_0.

Man stellt das Fadenkreuz auf das Roth im ersten, zweiten, dritten Spectrum; Ablesung: α_1, α_2, α_3.

Die Ablenkungen sind $\alpha_1 - \alpha_0$, $\alpha_2 - \alpha_0$, $\alpha_3 - \alpha_0$. Ist die obige Formel richtig, so muss sein

$$\alpha_1 - \alpha_0 : \alpha_2 - \alpha_0 : \alpha_3 - \alpha_0 = 1 : 2 : 3.$$

b) Man ersetzt die Gaslampe durch eine Natrium- und Lithiumflamme, welche Strahlen von den Wellenlängen λ_{Na} und λ_{Li} liefern, und macht dieselben Ablesungen wie oben.

Die $\beta_1 \ldots$ beziehen sich auf Na-Licht, die $\gamma_1 \ldots$ auf Li-Licht und entsprechen den $\alpha_1 \alpha_2 \ldots$:

$$\beta_1 \ldots \beta_n, \text{ und } \gamma_1 \ldots \gamma_n.$$

Dann muss wieder sein:

$$\beta_1 - \alpha_0 : \beta_2 - \alpha_0 : \ldots \beta_n - \alpha_0 = 1 : 2 : \ldots : n$$

und

$$\gamma_1 - \alpha_0 : \gamma_2 - \alpha_0 : \ldots \gamma_n - \alpha_0 = 1 : 2 : \ldots : n.$$

Weiter erhalten wir aus diesen Messungen das Verhältniss der Wellenlängen λ_{Na} und λ_{Li}, nämlich:

$$\lambda_{Na} : \lambda_{Li} = \beta_n - \alpha_0 : \gamma_n - \alpha_0.$$

Kennen wir also λ_{Na}, so können wir auch λ_{Li} finden.

c) Bestimmung der Wellenlänge von λ_{Na}. Es ist

$$C \sin \delta_n = n \lambda \text{ Na als Index.}$$

In dieser Gleichung kennen wir δ_n und n, um λ Na zu berechnen, müssen wir noch: d) Die Gitterconstante C bestimmen.

Wir legen auf das Tischchen eines Mikroskops eine in $^1/_5$ mm getheilte Glasplatte mit der Theilung nach oben und darauf das Glasgitter, mit der getheilten Fläche nach unten, und zählen ab, wie viele Theilstriche x auf dem Gitter dem Zwischenraum zwischen zwei Strichen auf der getheilten Platte entsprechen. Dann ist die Gitterconstante $^1/_5 x$ mm, denn $5x$ Zwischenräume des Gitters kommen auf 1 mm.

Dadurch hat man $C = {}^1/_5 x$ gefunden, und so auch

$$\lambda_{Na} = \frac{C \sin \delta_n}{n}.$$

Beispiel: Natriumlicht: $n = 1$, $\delta_1 = 4^0\,19'$; $C = 1/125$ mm; $\lambda_{Na} =$ 0,000 602 statt 0,000 590 mm.

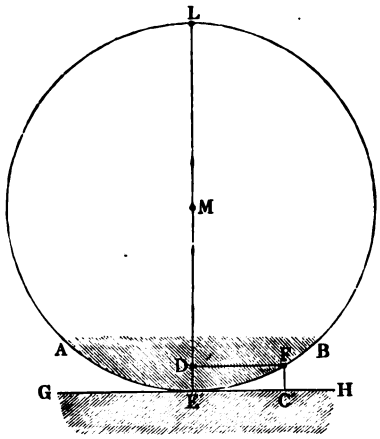
2. Newton'sche Farbenringe.

Gebraucht wird: Theilmaschine; Gläser für die Newton'schen Farbenringe; Natrium- und Lithiumflamme; rothes Glas oder mit Fuchsin gefärbte Gelatineplatte; Linse; planparallele Glasplatte; total reflectirendes Prisma, Fernrohr, Stative.

I. Princip. Fallen parallele Lichtstrahlen auf eine durchsichtige Platte, so wird ein Theil derselben an der Vorderfläche reflectirt, ein anderer Theil dringt in die Platte ein und wird zum Theil an der Hinterfläche zurückgeworfen. An der Vorderfläche treffen also Strahlen zusammen,

welche verschieden lange Wege von ihrem Ausgangspunkte in der Lichtquelle zurückgelegt haben, die also mit einem gewissen Gangunterschiede weiter gehen. Solche Strahlen geben zu Interferenzerscheinungen Anlass.

Fig. 199.



Wir stellen nun eine dünne Luftplatte dadurch her, dass wir auf die ebene Glasplatte GH (Fig. 199) eine schwach gekrümmte Plan-Convexlinse AEB legen. Die convexe Fläche derselben AEB entspricht einem Theil einer Kugeloberfläche, von der der Kreis $LAEFB$ einen Meridianschnitt darstellt, und deren Radius $ME = R$ sei. Fallen auf die ebene Fläche AB homogene Strahlen von der Wellenlänge λ parallel mit LE, so gelangen Strahlen zur Interferenz, welche zum Theil an der Glasplatte GH, zum Theil an der Fläche AEB reflectirt worden sind. Die Grösse des Gangunterschiedes zwischen den interferirenden Strahlen ändert sich in einem Meridianschnitt von Ort zu Ort und hängt von der Dicke $FC = d$ der Luftschicht zwischen AEB und GEH ab, und da diese in gleichen Entfernungen r von dem Berührungspunkte E bei senkrechter Incidenz immer die gleiche ist, so müssen concentrische helle und dunkle [1]) Ringe entstehen, wie sie die Fig. 200 zeigt. Der Radius r eines solchen Ringes ist: $r = \sqrt{2dR}$.

Fig. 200.

Setzt man den dem ersten hellen Ringe entsprechenden Radius gleich eins, und bezeichnet man die diesem Ringe entsprechende Dicke der Luftschicht mit d_1, so entstehen die nächsten hellen Ringe an Stellen, wo die Dicken gleich $3d_1$, $5d_1$, $7d_1$, $9d_1$ u. s. f. sind, also verhalten sich die Radien der auf einander folgenden Ringe wie

[1]) Auf den Grund, aus dem der Mittelpunkt dunkel und nicht hell ist, können wir hier nicht eingehen, es findet ein Verlust von $\frac{1}{2}\lambda$ statt.

$$\sqrt{1} : \sqrt{3} : \sqrt{5} : \sqrt{7} : \sqrt{9},$$

d. h. wie die Wurzeln aus den ungeraden Zahlen. Die Radien der dunklen Ringe verhalten sich wie die Wurzeln aus den geraden Zahlen.

Ist r_n der Radius des $n$ten hellen Ringes, r_m derjenige des $m$ten, und sind d_n und d_m die entsprechenden Dicken der Luftschicht, so ist:

$$r_n^2 = 2\,d_n\,R, \quad r_m^2 = 2\,d_m\,R,$$

wo $d_m = d_n + (m - n)\,\lambda/2$, wenn $m > n$ ist, also:

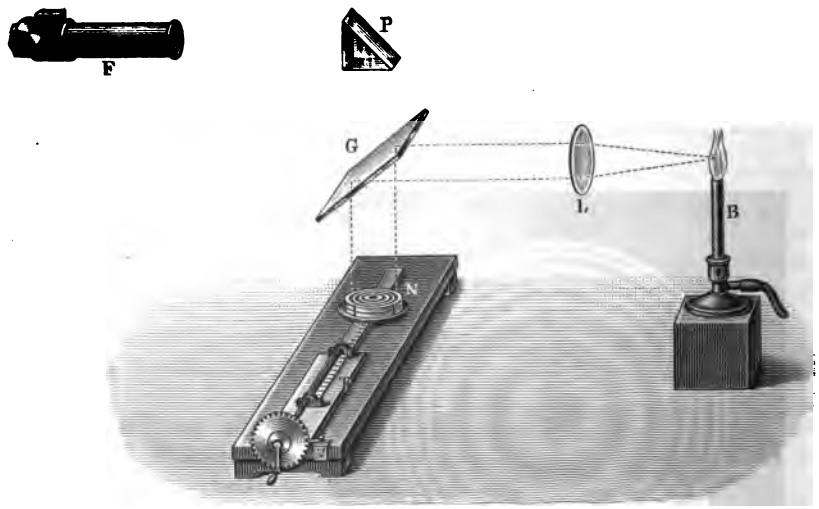
$$r_m^2 - r_n^2 = 2\,R\,(m - n)\,\lambda/2 = (m - n)\,\lambda\,R;$$

daraus kann man bei bekanntem λ R berechnen.

Kennt man umgekehrt R, so ergiebt sich aus der Formel die Wellenlänge λ.

II. Apparat (Fig. 201). Auf den Schlitten einer Theilmaschine T werden die zur Erzeugung der Farbenringe dienenden Newton'schen

Fig. 201.



Gläser N gelegt; dasselbe wird durch das durch die Linse P parallel gemachte und durch die Glasplatte G vertical nach unten geworfene Licht einer monochromatischen Lampe B (Natrium- oder Lithiumlicht) erleuchtet. Ueber der Gasplatte G steht das total reflectirende Prisma P, welches die an N reflectirten Strahlen nach dem Fernrohr F wirft.

I. Messung der Radien der Ringe.

Uebung. 1) Man beleuchtet das System N mit gelbem Natriumlicht, stellt das Fernrohr F in die Verticalebene, welche durch die Axe der Linse L und die Flamme geht, bringt das auf der Theilmaschine befestigte System N gleichfalls in diese Ebene und stellt auf die Ringe scharf ein.

2) Man dreht das Fernrohr so, dass ein Faden des Fadenkreuzes der Schraube der Theilmaschine parallel steht und durch die Mitte der Ringe geht.

3) Man dreht die Schraube der Theilmaschine und bringt dadurch die einzelnen Ringe der Reihe nach auf den verticalen Faden.

4) Man liest dabei für die 10 innersten hellen und dunklen Ringe (Mitte) die Stellungen des Glases an der Theilmaschine ab.

Berechnung. Man bildet die Differenzen der demselben Ringe entsprechenden Schraubenstellungen und halbirt dieselben; die dadurch erhaltenen Radien der hellen Ringe verhalten sich wie die Wurzeln der ungeraden Zahlen, die der dunklen wie die Wurzeln der geraden Zahlen.

II. Aichen der Schraube der Theilmaschinen.

Uebung. 1) Ein genauer Millimetermaassstab wird an Stelle des Newton'schen Farbenglases gelegt und die Flamme des Bunsenbrenners B durch Absperren des Luftzutrittes leuchtend gemacht.

2) Man bringt durch Drehen an der Theilmaschine den Anfang der Scala mit dem verticalen Faden des Fernrohres zur Deckung und liest die Stellung A_0 an der getheilten Scheibe ab.

3) Man führt durch Drehen n Theilstriche an dem Faden vorüber, stellt den letzten genau ein und liest wieder ab: A_n.

Dann ist der Längenwerth einer Schraubenumdrehung

$$c = \frac{1}{n}(A_n - A_0)\,\text{mm}.$$

Mit dieser Zahl c muss man jede auf der Theilmaschine gemessene Länge multipliciren, um sie in Millimeter zu verwandeln.

III. Bestimmung des Krümmungsradius R.

Aus den Werthen für den Radius des zehnten hellen Ringes $= r_m$ und dem des ersten $= r_n$ ergiebt sich der Krümmungsradius R nach der oben gegebenen Formel. λ ist für das gelbe Natriumlicht $= 0{,}0005892$ mm.

IV. Bestimmung der Wellenlänge des Lithiumlichtes.

Uebung. 1) Man färbt die Flamme durch Einbringen von Lithiumchlorid roth. Wenn die Ringe nicht rein roth erscheinen, sondern noch gelbe Säume zeigen, wodurch sie ein verwaschenes Aussehen erhalten, so ist neben dem rothen Lithiumlicht noch zu viel Natriumlicht in der Flamme. Man hält letzteres durch eine in den Gang der Strahlen gebrachte Gelatineplatte ab, welche mit Fuchsin tief roth gefärbt ist.

2) Man bestimmt z. B. den Durchmesser der fünf innersten Ringe.

Wählt man $m = 5$ und $n = 1$, so giebt die Formel λ, da R bekannt ist.

Bemerkung. Da die Ringdurchmesser bei verschieden gefärbtem Lichte verschieden gross sind, so entstehen bei Beleuchtung mit weissem Lichte farbige Ringe, die freilich nur da deutlich zu sehen sind, wo die Luftplatte sehr dünn ist. Diese sowohl im auffallenden wie im durchgehenden weissen Lichte sichtbaren Farben gehören zu den „Interferenzfarben dünner Blättchen".

D. Elektricitätslehre.

I. Apparate.

Bei der Untersuchung der galvanischen Ströme bedienen wir uns einer Reihe von Apparaten, deren Beschreibung wir vorausschicken.

1. Die galvanischen Elemente.

Die galvanischen Elemente, die Stromerzeuger, bestehen aus zwei Leitern erster Classe, Metallen, Kohle, Braunstein, die entweder beide in dieselbe Flüssigkeit, oder in verschiedene Flüssigkeiten tauchen. Diese sind entweder durch eine poröse Thonwand, eine Pergament- oder Blasenwand, durch welche nur eine sehr langsame Diffusion vor sich geht, getrennt oder so über einander geschichtet, dass die specifisch schwerere Flüssigkeit unten, die leichtere sich oben befindet.

Man bezeichnet ein galvanisches Element durch die chemischen Zeichen der in ihm enthaltenen Substanzen, die durch verticale Linien von einander getrennt sind; der zuerst stehende Leiter erster Classe bildet den positiven Pol des Elementes. Ein Platin in concentrirter Salpetersäure, Zink in verdünnter Schwefelsäure enthaltendes Element wird geschrieben:

$$Pt\,|\,H\,NO_3\,|\,H_2\,SO_4\,aq\,|\,Zn.$$

Die Elemente mit einer einzigen Flüssigkeit sind gewöhnlich bequemer zu handhaben, sind aber meist nicht constant, da sich mit der Zeit ihre elektromotorische Kraft verändert (s. w. u.). Wir besprechen nur die gewöhnlichst vorkommenden Formen.

I. Elemente mit einer Flüssigkeit.

1) Volta'sche Kette. Amalgamirte Zink- und Kupferplatten tauchen in verdünnte Schwefelsäure, die sich in einem Becherglase befindet (1 Thl. concentrirter Säure auf 10 bis 12 Thle. Wasser) (Kupfer + Pol, Zink — Pol).

Das Amalgamiren des Zinks geschieht folgendermaassen: Man reinigt dasselbe zuerst mechanisch, taucht es dann in verdünnte Salzsäure, nimmt es heraus, giesst etwas Quecksilber auf seine Oberfläche

und verbreitet dasselbe durch Bürsten mit einer groben, zweckmässig mit Kupferdraht gebundenen Bürste über die ganze Oberfläche. Bei Zinkcylindern, die durch Zusammenbiegen von Zinkblech hergestellt werden, muss das Amalgamiren auf der äusseren und inneren Oberfläche geschehen.

2) Leclanché-Element. Fig. 202. In einem Glase befindet sich eine Thonzelle, in der ein mit einer Klemmschraube versehener Cylinder aus Braunstein und Gaskohle steht, in dem Glase steht daneben ein amalgamirter Zinkstab. Glas und Thonzelle sind mit concentrirter Salmiaklösung gefüllt (Kohle-Braunstein + Pol, Zink — Pol). Man

Fig. 202.

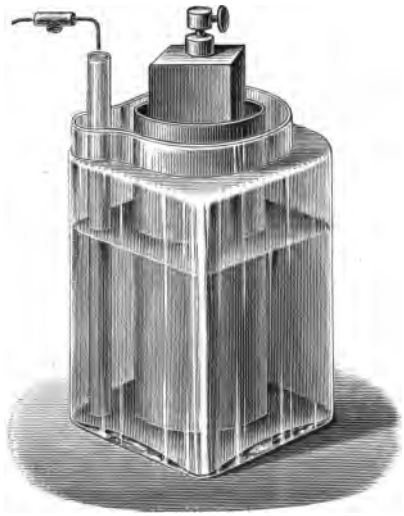
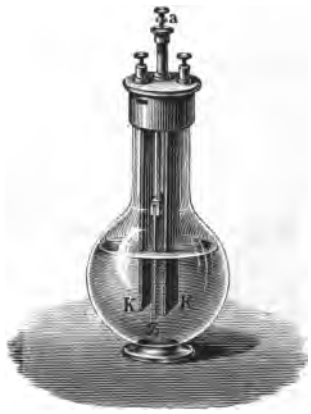


Fig. 203.



kann auch die Thonzelle fortlassen. Die elektromotorische Kraft ist etwa 1,3 Volts.

3) Bunsen's Chromsäureelement. Tauchelement. Fig. 203. In einem Glase befindet sich eine Chromsäure enthaltende Lösung, in die eine Zinkplatte *Z* und zwei Kohlenplatten *K* tauchen; beide sind mit Klemmschrauben verbunden. Die Zinkplatte muss an dem Stabe *a* aus der Flüssigkeit gehoben werden, sobald das Element nicht gebraucht wird (Kohle + Pol, Zink — Pol).

Die Lösung erhält man, wenn man 92 g gepulvertes Kaliumbichromat mit 94 cbcm englischer Schwefelsäure zu einem gleichförmigen Brei verreibt und dazu 900 cbcm Wasser zusetzt. Das Kaliumbichromat kann man auch durch eine äquivalente Menge Natriumbichromat ersetzen. Man kann auch eine Lösung von Chromsäure selbst verwenden. Die elektromotorische Kraft ist etwa 2 Volts.

4) Element von Latimer Clark. Durch den Paraffinstöpsel eines etwa 2 cm weiten Glascylinders geht ein in eine Glasröhre eingeschmol-

auf ca. 20 Thle. Wasser enthalten. Man giesst die Schwefelsäure unter stetem Umrühren mit einem Glasstabe in die entsprechende Menge Wasser. Das Gemisch wird dabei heiss, man lässt dasselbe kalt werden, ehe man es in die Gefässe einfüllt. Die Salpetersäure soll bei dichteren Strömen ein spec. Gew. 1,3 bis 1,4 haben. Während des Gebrauches wird sie verdünnter, sie muss daher erneuert werden.

Man giesst erst die Schwefelsäure in das Element, damit die Thonzelle mit derselben durchfeuchtet werde, und möglichst wenig von der Salpetersäure zum Zink dringe. Die Schwefelsäure muss etwa um $^1/_8$ höher als die andere Flüssigkeit stehen. Man muss sich sorgfältigst davor in Acht nehmen, Salpetersäure zum Zink zu giessen, da sich sonst gefährliche Dämpfe von Untersalpetersäure entwickeln. Dieselben bilden sich auch, während das Element geschlossen ist. Die Elemente müssen daher stets im Freien oder in einem mit Abzug versehenenen Raume stehen.

Nach dem Gebrauch nimmt man die Elemente auseinander. Die Thonzellen und Kohlen stellt man nach Abspülen mit viel Wasser längere Zeit ganz unter Wasser, damit alle Säure sowie die gebildeten Salze aus denselben ausgewaschen werden.

Fig. 209.

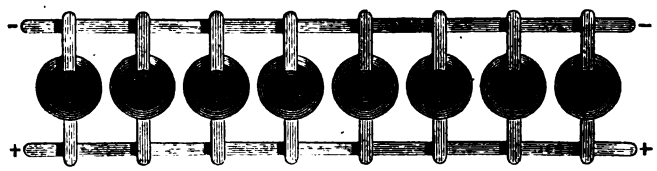
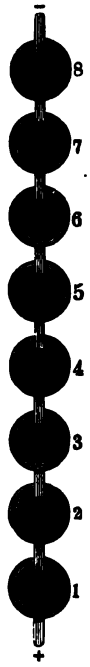


Fig. 210.



III. Verbindung mehrerer Elemente.

Mehrere n Elemente von der elektromotorischen Kraft E und dem Widerstande W kann man in verschiedener Weise verbinden.

1) Neben einander (Fig. 209) werden Elemente verbunden (geschaltet), wenn man die positiven (Kohle-) Pole aller Elemente und die negativen (Zink-) Pole aller Elemente mit einander verbindet. Man hat dann ein Element von derselben elektromotorischen Kraft E, wie sie ein einzelnes der angewandten Elemente besitzt, aber einem der Zahl der Elemente n entsprechend grösseren Querschnitt, also entsprechend kleineren Widerstand (W/n) (vgl. Ohm'sches Gesetz).

2) Hinter einander (Fig. 210) werden die Elemente verbunden, wenn man den positiven Pol des ersten mit dem negativen Pol des zweiten und so fort verbindet. Man hat dann die n-fache elektromotorische Kraft (nE), aber auch den n-fachen Widerstand $(n\,W)$.

Man kann auch die Elemente gruppenweise etwa zu je zweien hinter einander und dann alle vier Gruppen neben einander verbinden.

Bei einer gegebenen Anzahl von Elementen verbindet man dieselben so, dass ihr Widerstand insgesammt gleich dem Widerstande im äusseren Schliessungskreise ist; bei grossen äusseren Widerständen schaltet man die Elemente also hinter einander, bei kleinen neben einander.

2. Die Leitungsdrähte und Klemmschrauben.

Die Leitungsdrähte bestehen am besten aus weichem Kupfer, sie können dann hin- und hergebogen werden. Für schwache Ströme nimmt man dünne, für sehr starke Ströme dicke Drähte, da sich dieselben sonst durch den Strom zu stark erwärmen. Um eine metallische Berührung der Leitungsdrähte unter sich oder mit anderen Körpern zu verhindern, werden sie mit einem nicht leitenden Ueberzug von Seide oder Baumwolle umwickelt, den man noch mit Schellack oder Bernsteinfirniss lackirt oder mit Kautschuk oder Guttapercha bekleidet. Zur Verbindung der Leitungsdrähte mit den Metallplatten der Säule oder unter einander können Quecksilbernäpfe dienen, in welche man die amalgamirten Enden der Drähte eintaucht. Das Amalgamiren geschieht dadurch, dass man das mit Schmirgelpapier blank gemachte Ende des Drahtes in etwas Salpetersäure in einem Schälchen und gleich darauf in Quecksilber taucht. Weiter benutzt man zur Verbindung Klemmschrauben, welche je nach dem Zweck z. B. die Formen Fig. 211 bis 216 haben.

Fig. 211. Fig. 212. Fig. 213. Fig. 214. Fig. 215. Fig. 216.

Alle Berührungsstellen zwischen Klemmschrauben und Drähten müssen möglichst blank sein. Die letzteren putzt man mit Schmirgelpapier, die Löcher der ersteren reibt man mit Rund- oder Flachfeilen aus.

3. Stromunterbrecher.

Zum schnellen Unterbrechen eines Stromkreises dienen die Stromunterbrecher.

Ein einfacher Quecksilberunterbrecher besteht aus einem mit einem Rande versehenen Klötzchen, Fig. 217, in das zwei Löcher gebohrt sind,

die mit Quecksilber gefüllt werden und mit dem die Klemmschrauben a und a_1 in metallischer Verbindung stehen. Durch Einsetzen und Heraus-

Fig. 217.

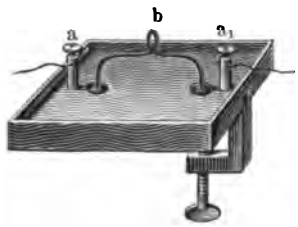
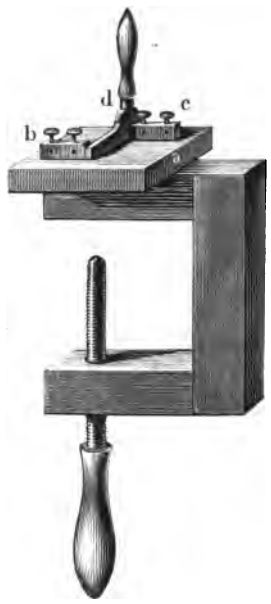


Fig. 218.



heben des Kupferbügels b kann der Strom geschlossen oder geöffnet werden. Der Unterbrecher wird, falls er nicht wie in Fig. 217 mit einer Zwinge an dem Tische befestigt wird, in einen flachen Holz- oder Pappkasten gesetzt, um das Verspritzen von Quecksilber zu vermeiden.

Eine andere Form des Unterbrechers stellt Fig. 218 dar. Auf einem Brett a von Hartgummi sind zwei mit Klemmschrauben versehene Messingklötze b und c befestigt. Ein an dem Klötzchen c drehbarer Hebel d von Messing lässt sich an einem Griff von Elfenbein zwischen die beiden Metallklötzchen b und c legen oder in die Höhe heben.

4. Stromwender, Commutator oder Gyrotrop.

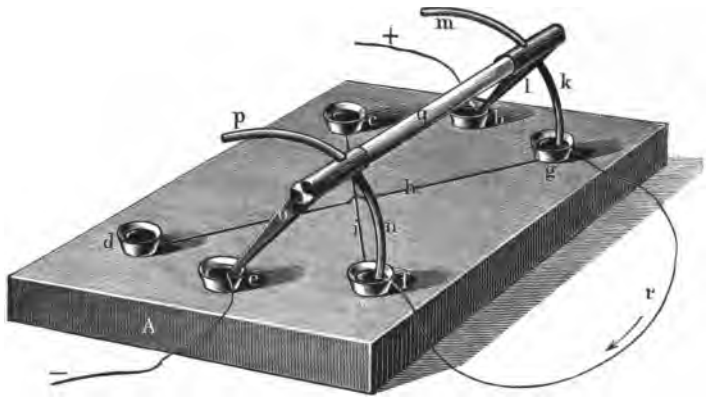
Oft will man in einem Theile der Leitung die Richtung des Stromes umkehren. Dazu dienen die folgenden Apparate.

1. Gyrotrop von Pohl. q (Fig. 219) ist ein Glasstab, durch den die beiden Metalltheile nop und klm von einander isolirt sind. Die Quecksilbernäpfchen d und g sind durch den Draht h, c und f durch den Draht i verbunden, h und i berühren sich nicht. Das Näpfchen b ist mit dem + Pol, e mit dem — Pol des Elementes verbunden, mit g und f sind die Enden des Theiles der Leitung r verbunden, in welchem der Strom gekehrt werden soll. Liegt der Bügel, wie die Figur zeigt, so fliesst der Strom durch r in der Richtung des Pfeiles. Legt man den Bügel um, so dass p nach d, m nach c kommt, so kehrt sich der Strom in r um, er fliesst entgegengesetzt dem Pfeil.

2. Gyrotrop von Ruhmkorff. Um eine Axe ab (Fig. 220) ist ein Cylinder c von Elfenbein drehbar, auf dem zwei Wülste d und e

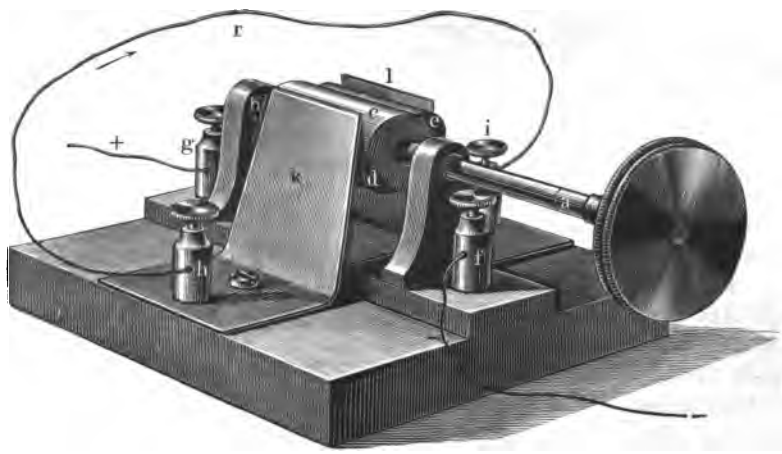
von Messing befestigt sind. Die Axe *a b* ist in der Mitte des Cylinders *c* getheilt; ihr vorderes Ende *a* steht mit dem Wulst *e* und der Klemmschraube *f*, ihr hinteres Ende mit dem Wulst *d* und der Klemmschraube *g* in leitender Verbindung.

Fig. 219.



Gegen den Cylinder federn die mit den Klemmschrauben *h* und *i* verbundenen Messingplatten *k* und *l*. Die Klemmen *g* und *f* sind mit dem positiven und negativen Pol der Leitung verbunden.

Fig. 220.



In *r* soll die Stromrichtung gewechselt werden. Steht der Cylinder, wie es die Fig. 220 zeigt, so fliesst der Strom von *g* durch *d*, *k* und *h* nach *i*, drehen wir den Cylinder um 180°, so fliesst er von *i* nach *h*.

5. Galvanometer.

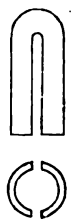
Zur Untersuchung, ob in einem Leiter Ströme vorhanden sind und um dieselben zu messen, dienen die Galvanoskope und Galvanometer. Bei beiden wird meist die Ablenkung einer Magnetnadel aus ihrer Richtung durch einen parallel derselben verlaufenden Strom benutzt. Je grösser die Ablenkung, um so stärker der Strom. Wir besprechen hier nur die einfachsten Formen der Galvanometer (über Spiegelgalvanometer, deren Aufstellung, Aichung etc. s. unten). Die Magnetnadel dreht sich entweder um eine verticale Axe, sie bewegt sich in einer horizontalen Ebene, „Horizontalgalvanometer", oder die Magnetnadel dreht sich um eine horizontale Axe, sie bewegt sich in einer verticalen Ebene, „Verticalgalvanometer".

Eine Form des Horizontalgalvanometers ist z. B. die folgende:

Innerhalb einer Kupferkugel schwebt an einem kurzen, an dem Stab γ (Fig. 222) befestigten Faden ein sog. Glockenmagnet, dessen Seiten- und Unteransicht Fig. 221 wiedergiebt. Mit ihm ist eine horizontale Aluminiumnadel N verbunden, die über einer Theilung schwebt. Die Ablenkung des Magneten wird durch die in A und B befindlichen Spiralen bewirkt. Durch die Klemmschrauben C und eine auf der Rückseite der Fig. 222 befindliche C' wird der Strom zu- und fortgeleitet. Das Galvanometer muss so auf dem Tische aufgestellt werden, dass die Axen der Spiralen A und B in der magnetischen Ostwestrichtung liegen; dann zeigt die Aluminiumnadel auf Null, wenn kein Strom durch das Galvanometer geht. Durch Senken von γ kann man den Magneten herunterlassen, so dass er nicht mehr frei schwebt, was beim Transport wesentlich ist.

Fig. 222.

Fig. 221.



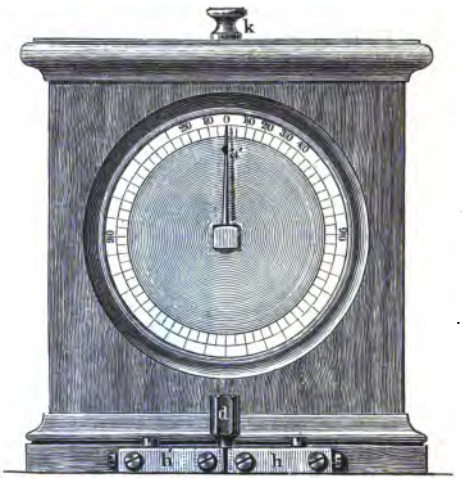
Ein Verticalgalvanometer besteht aus einem um eine horizontale Axe sich drehenden innerhalb einer Spirale befindlichen Magnetstabe a, mit dem ein Zeiger a' verbunden ist, der über einer Theilung spielt. Dabei können der Magnetstab und die Spiralen bb' horizontal oder vertical stehen. Die Anordung im letzteren Falle geben die Figuren 223 und 224. hh' ist ein sog. Nebenschluss, der durch Einsetzen oder Herausziehen des Stöpsels d ein- oder ausgeschaltet werden kann (vgl. S. 407).

Das Verticalgalvanometer (Fig. 225) zeigt die erstere Anordnung; es besteht aus einer in der Figur nicht sichtbaren horizontalen Magnetnadel, mit der ein auf der Theilung spielender Zeiger a' verbunden

ist, der senkrecht auf der Längsrichtung der Magnetnadel steht. Die Magnetnadel befindet sich innerhalb der horizontalen Spiralen.

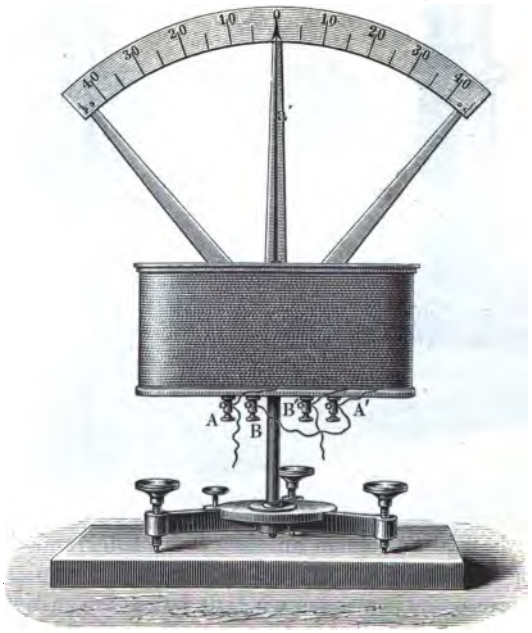
Fig. 223.

Fig. 224.



Die Ablenkung der Nadel des Galvanometers soll nur durch die um dasselbe gelegten Windungen hervorgerufen werden. Um eine Ab-

Fig. 225.



lenkung durch den Strom in den Zu- und Ableitungsdrähten zu vermeiden, legt man die den letzteren zu- und fortführenden Drähte möglichst parallel. Man kann die beiden Drähte auch um einander wickeln.

Auf einem anderen Principe beruht das Federgalvanometer von F. Kohlrausch, Fig. 226 und 227.

Fig. 226.

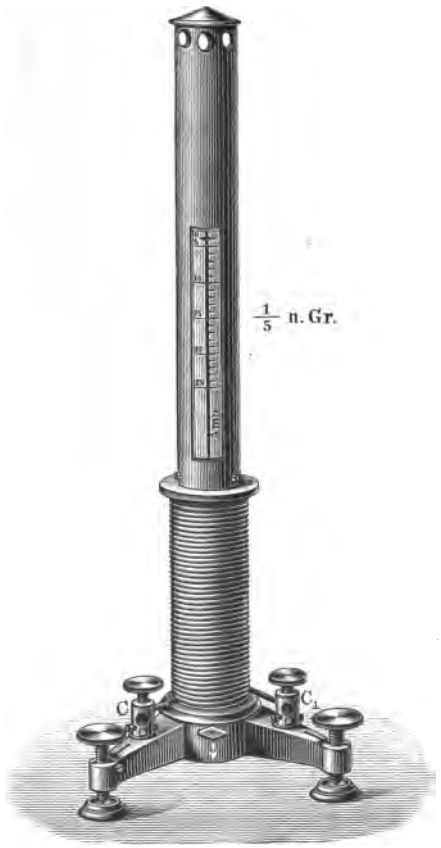
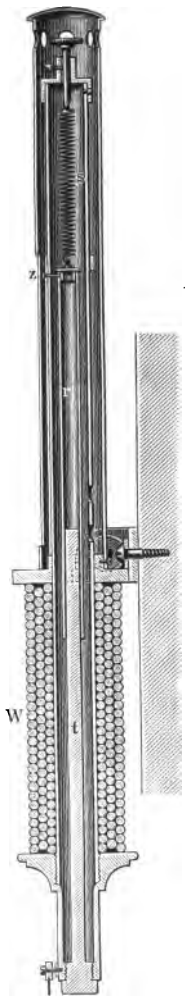


Fig. 227.



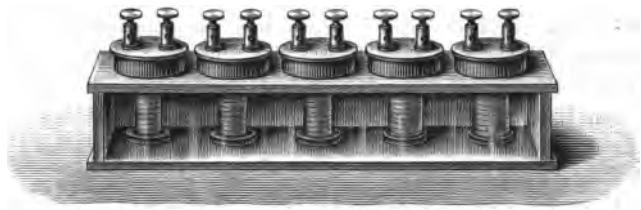
Dasselbe besteht aus einem an einer Spiralfeder aufgehängten Hohlcylinder *r* von weichem Eisen, der von einem durch die Spirale *W* fliessenden Strome in diese hineingezogen wird, und zwar um so tiefer, je stärker der Strom ist. An einem mit dem Eisencylinder verbundenen Index *z*, der

sich längs einer verticalen Scala verschiebt, liest man die Stromstärken ab. Der Strom wird in die beiden Klemmschrauben C und C_1 am Fusse des Instrumentes geleitet.

6. Die Rheostaten.

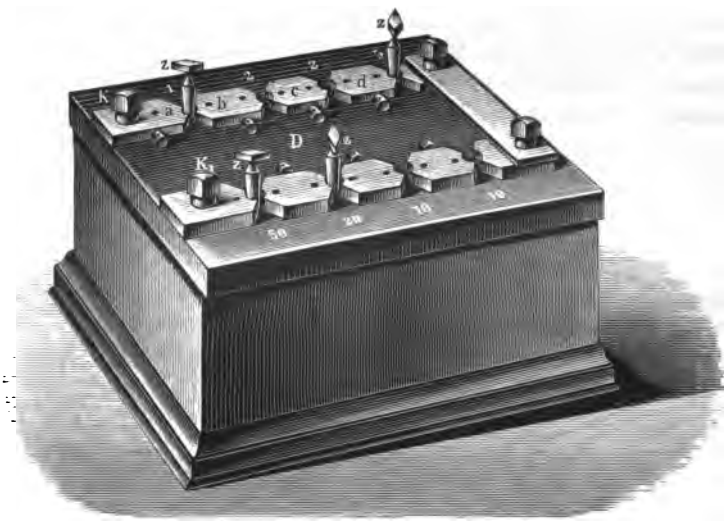
Um genau bestimmte Widerstände in den Stromkreis einzuschalten, sind solche aus Neusilber oder Nickelindraht hergestellt, der passend auf Holzspindeln gewickelt ist, welche zu Widerstandssätzen, „Rheostaten", zusammengestellt sind. Die von uns gewöhnlich im Prakticum

Fig. 228.



benutzten sind in Fig. 228 abgebildet. Sie stehen in einem durch eine Glasplatte geschlossenen Kasten. Die Widerstände der Spiralen (Wider-

Fig. 229.



standsrollen) betragen: 1, 2, 2, 5 und 10 Ohm (Ω). Durch U-förmige Bügel aus dickerem Kupferdraht von verschwindendem Widerstand kann jede beliebige Combination von zwei oder mehr Spiralen hergestellt werden,

man kann demnach von 1 bis 20 Ohm einschalten, indem man die Bügel in je eine Klemmschraube zweier Spiralen steckt. Die frei bleibenden Klemmschrauben der ersten und letzten Spirale werden mit den Zuleitungsdrähten verbunden.

Eine vollkommenere Form der Widerstandsscala ist die der Siemens'schen Stöpselrheostaten (Fig. 229, a. v. S.).

a, *b*, *c*, *d* ... sind dicke Messingplatten, die durch schmale Zwischenräume getrennt sind; mit *a* ist die Klemmschraube *K* verbunden, mit der letzten Platte die Klemmschraube K_1. In dem Kasten befinden sich Spiralen von 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 50 Ohm Widerstand. Mit *a* ist das eine Ende der Spirale von 1 Ω Widerstand verbunden, mit *b* das andere Ende der Spirale von 1 Ω und das eine der einen Spirale von 2 Ω ist *c*; an das andere Ende der Spirale von 2 Ω, und das erste Ende der zweiten Spirale von 2 Ω gelöthet u. s. f. Zwischen die Platten *a*, *b* ... kann man in schwach conische Ausschnitte die Stöpsel *s* stecken. Sind alle Stöpsel herausgenommen, so durchfliesst der Strom die sämmtlichen Spiralen von 100 Ω Widerstand; wird ein Stöpsel eingesetzt, so geht der Strom durch ihn und nicht durch die Spirale. Der betreffende Widerstand ist daher ausgeschaltet.

Der Kurbelrheostat, von dem *H* (Fig. 235) eine Ansicht von oben giebt, ist folgendermaassen eingerichtet. Die Widerstandsrollen befinden sich in einem viereckigen Kasten. Das eine Ende eines jeden desselben ist mit der einen der beiden aussen sichtbaren Klemmschrauben verbunden, das andere mit einem der Metallknöpfe, die in der Figur als schwarze Kreise auf dem Deckel erscheinen. Mit der anderen Klemmschraube ist metallisch verbunden eine Metallkurbel, die sich um eine in der Mitte des Kastens befindliche Axe drehen und mit irgend einem der Knöpfe in Contact bringen lässt. Die beiden Klemmschrauben dienen zum Zu- und Ableiten des Stromes, der je nach der Stellung der Kurbel verschieden grosse Widerstände durchfliessen muss.

II. Ohm'sches Gesetz. Einheiten. Stromverzweigung.

1. Ohm'sches Gesetz.

Bei einem durch einen Leiter fliessenden galvanischen Strom hat man zu unterscheiden 1) die Stromstärke I; 2) die elektromotorische Kraft E und 3) den Widerstand W.

1) Die Stromstärke I giebt die Elektricitätsmenge an, welche in der Zeiteinheit durch den ganzen Querschnitt des Leiters fliesst. Die Stromdichte ist die in der Zeiteinheit durch die Einheit des Querschnitts fliessende Elektricitätsmenge. Fliesst also durch den Leiter von dem Querschnitt ein Strom von der Intensität I, so ist die Stromdichte desselben I/Q.

2) Die elektromotorische Kraft E ist die Energie, welche zur Erzeugung des Stromes verwendet und von ihm verbraucht wird.

Die elektromotorische Kraft einer Kette ist gleich dem Potential- oder Spannungsunterschiede ihrer Pole im stromlosen Zustande.

3) Der Widerstand W der einzelnen Theile der Leitung entspricht der in ihnen in Arbeit, z. B. in Wärme, umgesetzten Energie.

Diese drei Grössen sind verknüpft durch das Ohm'sche Gesetz nach der Formel

$$I = a\,\frac{E}{W}.$$

Die Stromstärke ist direct proportional der gesammten elektromotorischen Kraft, umgekehrt proportional dem gesammten Widerstande.

Bei passender Wahl der Einheiten für I, E, W wird $a = 1$, also:

$$I = \frac{E}{W}.$$

Die gesammte elektromotorische Kraft E ist gleich der Summe aller im Stromkreise vorhandenen elektromotorischen Kräfte.

Im unverzweigten Kreise ist der gesammte Widerstand W gleich der Summe aller Widerstände w der einzelnen auf einander folgenden Theile der Leitung, also

$$W = w_1 + w_2 + \cdots$$

Der Widerstand w jedes einzelnen, überall gleich dicken Theiles ist proportional der Länge l, umgekehrt proportional seinem auf der Länge l constanten Querschnitt q, also $w = \varepsilon \frac{l}{q}$.

Hier ist ε eine für jede Substanz charakteristische Zahl, nämlich der Widerstand der Längeneinheit (in Metern) für einen Quadratmillimeter Querschnitt. Diesen Werth ε nennt man den specifischen Widerstand.

Der reciproke Werth des Widerstandes $1/w$ ist die Leitfähigkeit. $A = \frac{1}{\varepsilon}$ heisst die specifische Leitfähigkeit.

Häufig theilt man den Widerstand in einem Stromkreise in zwei Theile: 1) den Widerstand in dem Elemente oder den Elementen (der Säule): den inneren oder wesentlichen Widerstand w_i; und 2) den Widerstand in dem Schliessungskreise: den äusseren oder unwesentlichen Widerstand w_a. Dann ist

$$W = w_i + w_a.$$

2. Einheiten.

Früher wurden für die Messung der Stromstärke, der elektromotorischen Kraft und des Widerstandes empirische Einheiten benutzt.

Als Einheit der Stromstärke galt die eines Stromes, welcher in der Zeiteinheit (Secunde) 1 cbcm Wasserstoff oder 1 cbcm Knallgas entwickelte oder 1 mg Wasser zersetzte (chemische Einheit), oder die eines Stromes, welcher, in einem Kreise von bestimmtem Durchmesser eine Magnetnadel in der Meridianebene umfliessend, die Nadel um einen bestimmten Winkel (45°) ablenkte (magnetische Einheit).

Als Einheit der elektromotorischen Kraft galt die eines Daniell'schen Elementes oder die eines Elementes nach Latimer Clark.

Als Einheit des Widerstandes galt der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0°, die sogenannte Siemens-Einheit.

Bei Einführung dieser willkürlichen Einheiten wird a in der Gleichung für das Ohm'sche Gesetz nicht $= 1$.

Bei dem jetzt eingeführten absoluten elektromagnetischen Maasssystem ist dagegen $a = 1$.

Die absoluten Einheiten sind hier nicht zu definiren, wir wollen sie in den empirischen Einheiten ausdrücken.

Einheit der Stromstärke ist ein Ampère.

Der Strom 1 Ampère (Am.) zersetzt oder scheidet aus:

	mg Wasser	mg Silber	mg Kupfer	cbcm Knallgas von 0^0 und 760 mm
in 1 Sec.	0,0933	1,118	0,3281	0,1740
„ 1 Min.	5,60	67,09	19,68	10,44
„ 1 Stde.	336	4025	1181	626

Einheit des Widerstandes ist das legale Ohm (Ω), gleich 1,06 Siemens-Einheiten.

Einheit der elektromotorischen Kraft ist ein Volt (V), diejenige elektromotorische Kraft, welche in einem Schliessungskreise von 1 legalem Ohm Widerstand einen Strom von 1 Ampère erzeugt, also

$$1 \text{ Volt} = 1 \text{ Ampère} \times 1 \text{ Ohm}.$$

Ein Volt ist etwa $= 0{,}9$ Daniell (D.) oder $= 0{,}7$ Latimer Clark (L. C.) und umgekehrt genauer

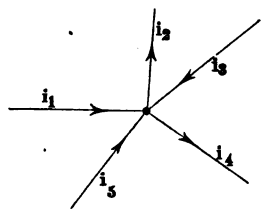
$$1 \text{ D.} = 1{,}1 \text{ Volt} \qquad 1 \text{ L. C.} = [1{,}435 - 0{,}0011\ (t - 15)] \text{ Volt},$$

wo t die Temperatur bedeutet.

3. Stromverzweigung.

Ist die Strombahn nicht ein einfacher Leiter, sondern theilt sie sich an der einen oder anderen Stelle in mehrere sich nachher wieder vereinigende Zweige, so haben wir es mit einer Stromverzweigung zu thun [1]).

Fig. 230.



Die Punkte, in denen mehr als zwei Leiter zusammenstossen, heissen Verzweigungspunkte.

Für solche verzweigte Ströme gelten die folgenden Kirchhoff'schen Sätze:

I. An jedem Verzweigungspunkte ist die Summe der Stromstärken gleich Null, wenn man den ankommenden Strömen das entgegengesetzte Vorzeichen giebt wie den abfliessenden.

Zu jedem Verzweigungspunkte fliesst die gleiche Elektricitätsmenge hin, wie von ihm weg.

In der Fig. 230 ist also $i_1 + i_3 + i_5 = i_2 + i_4$.

II. Betrachtet man einen beliebigen, in sich geschlossenen Theil der Leitung, nennt die darin vorkommenden elektromotorischen Kräfte und Stromstärken in der einen Richtung positiv, in der anderen negativ, so ist die Summe der Producte aus den einzelnen Widerständen in die

---

[1]) Auch wenn die Stromleiter dickere Drähte oder Platten sind, verzweigen sich in denselben die Ströme, und die Stromdichte braucht nicht an allen Stellen eines Querschnittes die gleiche zu sein.

zugehörigen Stromstärken gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte.

1) Wenden wir diese Sätze auf Fig. 231 an, so haben wir, da in dem Kreise $Cw_2 i_2 F w_1 i_1$ keine elektromotorische Kraft vorhanden ist, wenn wir mit w_1 und w_2 die Widerstände der beiden Strombahnen zwischen C und F, mit i_1 und i_2 die Intensitäten der in ihnen verlaufenden Ströme bezeichnen:

$$I = i_1 + i_2 \quad \text{und} \quad i_1 w_1 - i_2 w_2 = o,$$
$$i_1 : i_2 = w_2 : w_1 \quad \text{und} \quad i_1 w_1 = i_2 w_2.$$

Für Stromzweige, die von einem Punkte ausgehen und sich in einem zweiten wieder vereinigen, gilt der Satz: Die Intensitäten der Zweigströme verhalten sich umgekehrt wie die Widerstände der Zweige.

Fig. 231.

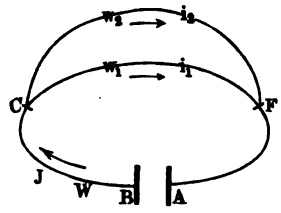
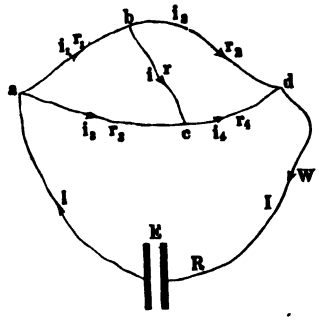


Fig. 232.



Schaltet man neben irgend einen Stromkreis 1 einen Zweig 2, so nennt man diesen einen Nebenschluss (shunt); die Intensität des Stromes in demselben kann durch Vergrössern seines Widerstandes beliebig klein gemacht werden.

Der Widerstand w der beiden Zweige w_1 und w_2 zusammen ist

$$w = \frac{w_1 \cdot w_2}{w_1 + w_2}.$$

2) Bei der Anwendung der Sätze 1 und 2 auf Fig. 232 für die beiden Kreise abc und bcd, wo die Widerstände mit r bezeichnet sind, ergiebt sich

$$i_1 r_1 + ir - i_3 r_3 = 0, \qquad i_2 r_2 - i_4 r_4 - ir = 0,$$
$$i_1 - i - i_2 = 0, \qquad i_3 - i - i_4 = 0.$$

Ist $i = 0$, so ist $i_1 = i_2$, $i_3 = i_4$ und: 1) $i_1 r_1 = i_3 r_3$, 2) $i_2 r_2 = i_4 r_4$, also durch Division von 1 und 2

$$r_1 : r_2 = r_3 : r_4.$$

Diese Drahtcombination heisst die Wheatstone'sche; sie wird bei Widerstandsbestimmungen benutzt; ist r_2 und ausserdem das Verhältniss $r_3 : r_4$ bekannt, so kann man aus der Gleichung r_1 berechnen (s. w. u. S. 381).

III. Grundversuche. Ampère'sche Regel. Qualitative Prüfung des Ohm'schen Gesetzes.

1. Bestimmung der Pole der Säule.

Gebraucht wird: Ein Chromsäureelement; eine Zink-Wasser-Kupfer-Kette; ein Goldblattelektroskop mit Collector- und Condensatorplatte; isolirte Leitungsdrähte; Siegellackstange; Glasstange; Kienmeyer'sches Amalgam auf Leder aufgetragen.

Uebung. 1) Man verbindet den Zinkpol eines Chromsäureelementes mit der auf ein sehr empfindliches Elektroskop geschraubten Collectorplatte eines Condensators durch einen gut isolirten Draht, den Kohlepol mit der auf der Collectorplatte aufliegenden Condensatorplatte, nimmt die Drähte mittelst isolirter Handhaben ab und entfernt die obere Condensatorplatte. Es tritt ein Ausschlag ein. Steht kein äusserst empfindliches Elektroskop zur Verfügung, so nimmt man statt eines einzigen Elements etwa eine Zink-Wasser-Kupfer-Kette von circa 30 bis 40 Elementen.

2) Man nähert der Collectorplatte des Elektroskops eine mit Wolle geriebene positiv geladene Siegellackstange: die Goldblättchen weichen weiter aus einander.

3) Man nähert eine, mit Kienmeyer'schem auf Leder aufgetragenem Amalgam geriebene Glasstange, die Blätter fallen erst zusammen und gehen dann wieder aus einander. Die Collectorplatte des Elektroskopes ist negativ geladen. Bei dem Annähern der —Stange wird zuerst die auf derselben vorhandene — Elektricität in die Goldblättchen getrieben und dadurch die Divergenz vermehrt, bei weiterer Annäherung kommen weitere Elektricitätsmengen durch Vertheilung dazu, indem die — Elektricität der Stange + Elektricität in der Collectorplatte bindet und die frei werdende —Elektricität nach den Goldblättchen entweicht.

Im zweiten Falle wird die auf den Blättchen befindliche —Elektricität zunächst nach der Collectorplatte gezogen und die Blättchen fallen zusammen. Dann vertheilt aber die stärker genäherte + Elektricität der Glasstange die Elektricität im Elektroskope, die —Elektricität wird in der Collectorplatte angehäuft, die + Elektricität in die Blättchen getrieben und ruft deren Divergenz hervor.

Der Zinkpol ist also der — Pol.

Der gleiche Versuch wird bei umgekehrter Verbindung mit dem Element oder der Säule angestellt. Der Kohlepol erweist sich als der + Pol.

Bemerkung. Bei anderen Ketten entspricht der Zinkpol dem Zinkpol des Chromsäureelementes.

Verbindet man die beiden Pole des Chromsäureelementes durch einen Draht, so gleichen sich die Elektricitäten aus, es entsteht ein elektrischer Strom, der in der Luft von der Kohle zum Zink, also nach dem Alphabet geht.

2. Ampère'sche Regel.

Gebraucht wird: Chromsäureelement; Leclanchéelement; Daniell'sches Element; Trockenelement; Draht; Boussole.

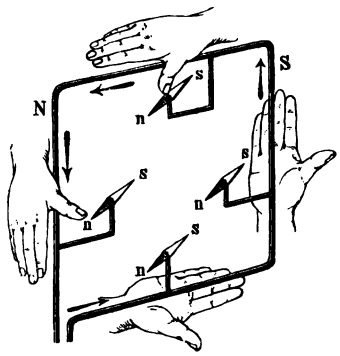
Einleitung. Leitet man an einer Magnetnadel einen Strom entlang, so wird dieselbe abgelenkt. Kehrt man den Strom um, so ändert sich die Richtung der Ablenkung. Dieselbe ist durch die Ampère'sche Regel bestimmt:

Man denkt sich selbst in dem vom Strome durchflossenen Leiter in der Richtung des Stromes schwimmend, das Gesicht der Nadel zugewandt, dann wird der Nordpol der Nadel nach links, der Südpol nach rechts abgelenkt.

Legt man die rechte Hand so neben den Strom, dass sie in der Richtung desselben zeigt und der Magnet auf Seite der Handfläche liegt, so wird stets der Nordpol nach dem Daumen hin abgelenkt (Fig. 233).

Uebung. 1) Ein gerader Draht wird mit den Polen eines Chromsäureelementes verbunden, abwechselnd über und unter und neben eine Magnetnadel gehalten und der Strom in ihm durch Aendern der Drahtverbindungen umgekehrt. Man vergleicht die Richtung der Ablenkung mit der durch die obige Regel bestimmten.

Fig. 233.



2) Die Stromrichtung wird mittelst einer Magnetnadel in dem Schliessungsdraht eines Leclanché- oder Daniell-Elementes bestimmt und daraus der positive und negative Pol derselben ermittelt; der Strom geht ausserhalb des Elementes von der Kohle zum Zink, also im Sinne des Alphabetes von einem Pol zum andern.

3) Derselbe Versuch wird mit einem verschlossenen, nicht bezeichneten Trockenelement angestellt.

3. Qualitative Prüfung des Ohm'schen Gesetzes.

Gebraucht wird: Trogelement; Chromsäurelösung; ein Verticalgalvanometer; ein Widerstandskasten; ein Unterbrecher; Verbindungsdrähte.

I. Apparat. Der Stromkreis wird gebildet aus einem Trogelement, einem Unterbrecher, einem Verticalgalvanometer und einem Widerstandskasten.

1. Das Trogelement besteht aus einem länglichen Glastrog, der mit verdünnter Chromsäure[1]) gefüllt ist. In denselben wird eine Kohle- und eine Zinkplatte gehängt, welche von einem an die obere Kante angelötheten starken Metalldraht getragen werden. Die über den Trogrand heraustretenden Enden desselben tragen je eine Klemmschraube.

Ausserdem kann man in den Trog mit ihren Rückseiten zusammengelöthete Zink- und Kohleplatten hängen.

2. Der Widerstandskasten, den wir hier verwenden, enthält Drahtspiralen, welche Widerstände von einer bestimmten Anzahl Ohm besitzen. Je nach der Construction des Widerstandskastens kann man in der einen oder anderen Weise einen verschieden grossen am Kasten abzulesenden Widerstand in die Leitung einschalten.

II. **Uebung.** 1) Man taucht die Kohle- und Zinkplatte an den Enden des Glastroges ein, schaltet 0 Ohm in die Leitung ein, schliesst den Strom und liest den Nadelausschlag α ab, der etwa 4 bis 5° betragen soll.

Ist der Ausschlag zu gross, was meist der Fall ist, so schaltet man neben das Galvanometer einen Nebenschluss.

Dazu verfährt man folgendermaassen:

2) Die Klemmschrauben am Verticalgalvanometer, mit denen die Zuleitungsdrähte verbunden werden, haben je drei Durchbohrungen, in zwei werden der Zuleitungsdraht und die Leitung nach dem Galvanometer eingeschaltet[2]). In der dritten Durchbohrung der einen Klemmschraube wird das eine Ende eines Neusilberdrahtes befestigt, durch die Durchbohrung der anderen wird das andere Ende des Drahtes gezogen und in der Lage festgeschraubt, bei welcher der Ausschlag eine passende Grösse erhalten hat.

Der Strom fliesst jetzt zum Theil (vergl. S. 374) durch das Galvanometer, zum Theil durch den Neusilberdraht; je grösser der Widerstand des letzteren ist, um so stärker ist der durch das Galvanometer fliessende Strom. (Oft ist an dem Galvanometer selbst ein Nebenschluss ange-

[1]) Statt der Lösung von Chromsäure selbst kann man auch eine Lösung nehmen, die aus 1 kg Kaliumbichromat, 1 Liter Schwefelsäurehydrat und 10 Liter Wasser besteht.

[2]) Haben dieselben nur zwei Durchbohrungen, so werden diese beiden Drähte in der einen derselben befestigt.

bracht, der durch Einstecken und Ausziehen eines Stöpsels ein- und ausgeschaltet werden kann, wodurch die Empfindlichkeit verändert wird.

3) Man setzt eine, zwei, drei Zink-Kohle-Doppelplatten zwischen die Zink- und Kohleplatte mit ihren Zinkseiten der Kohleplatte zugekehrt in den Glastrog. Dadurch wird der Widerstand des Schliessungskreises kaum geändert, dagegen wird zu der ursprünglichen elektromotorischen Kraft e die Kraft e, $2e$, $3e$ zugefügt. Der Ausschlag wächst, und zwar ist er angenähert 2α, 3α, 4α.

4) Man schiebt sämmtliche Platten näher an einander (ohne sie zur Berührung zu bringen), so dass die Entfernung der äussersten Platten etwa die Hälfte der ursprünglichen beträgt. Dadurch vermindert man den inneren Widerstand w_i im Schliessungskreise auf die Hälfte; der Ausschlag verdoppelt sich fast.

5) Man schaltet von dem Widerstandskasten mehr und mehr Widerstand ein; dadurch vermehrt man den äusseren Widerstand w_a; der Ausschlag nimmt ab.

IV. Bestimmung des elektrischen Leitungswiderstandes.

Einleitung. In Bezug auf ihr Verhalten beim Durchgange des elektrischen Stromes kann man die Leiter in zwei Classen eintheilen: Leiter erster und zweiter Classe.

Die Leiter der ersten Classe werden beim Durchgange des Stromes nicht chemisch zersetzt (hierher gehören z. B. die festen metallischen Leiter); die Leiter der zweiten Classe erfahren beim Durchgange des Stromes eine Zersetzung (hierher gehören die Lösungen von Salzen, Säuren, Basen). Diese Zersetzung eines stromdurchflossenen Leiters der zweiten Classe nennt man Elektrolyse. Daher bezeichnet man auch die Leiter erster Classe als Nichtelektrolyte, die der zweiten als Elektrolyte.

1. Leiter erster Classe.

Gebraucht wird: A. Kasten mit Widerstandseinheiten und Kupferbügeln (Fig. 228); Neusilberdrahtwiderstände auf Holzspindeln mit Einlegekasten (Fig. 234); Unterbrecher; ein Leclanché-Element; Quecksilberfläschchen; Galvanometer (Fig. 222); Hülfswiderstandskasten; Verbindungsdrähte (Leitung grün, Zweig nach dem Galvanometer roth übersponnen). — B. Die Wheatstone'sche Brücke (Fig. 236) mit den Drahtverbindungen (weiss die unverzweigte Leitung, roth der Zweig, welcher die zu vergleichenden Widerstände enthält, und grün die eigentlichen Brückendrähte); Neusilberdrahtwiderstände wie oben; 1 m lange Drahtwiderstände auf Holzlatten; Galvanometer und Unterbrecher wie oben; ein Zusatzwiderstand; das Mikrometer (Fig. 11, S. 16).

A. Bestimmung nach der Substitutionsmethode.

I. Princip. Zwei Widerstände sind einander gleich, wenn sie nach einander an einer Stelle eines sonst unveränderten Schliessungskreises eingeschaltet werden und dabei die Stromstärke jedesmal den gleichen Werth hat.

Dieser Satz folgt unmittelbar aus dem Ohm'schen Gesetze (S. 371); er wird benutzt bei der Bestimmung elektrischer Leitungswiderstände

kann ein Theil des durch die Zweige gehenden Stromes durch FL fliessen; FL bildet eine Strombrücke zwischen den beiden Zweigen: die Wheatstone'sche Brücke.

Bezeichnen W_x, a, O, b die Widerstände der vier Theile der Leitung, so geht kein Strom durch die Brücke, wenn

$$W_x : a = O : b.$$

(Folge aus den Kirchhoff'schen Sätzen über Stromverzweigung, vergl. S. 374.)

Kennt man also a, b und O, so kann man W_x berechnen, es ist

$$W_x = O \frac{a}{b}.$$

Um diese Drahtcombination zu einem bequemen Messinstrument zu gestalten, spannt man zwischen A und C (Fig. 236) einen überall gleich

Fig. 236.

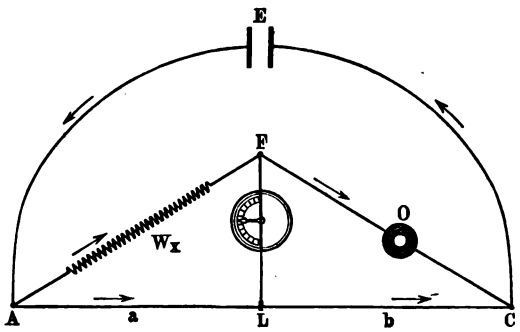
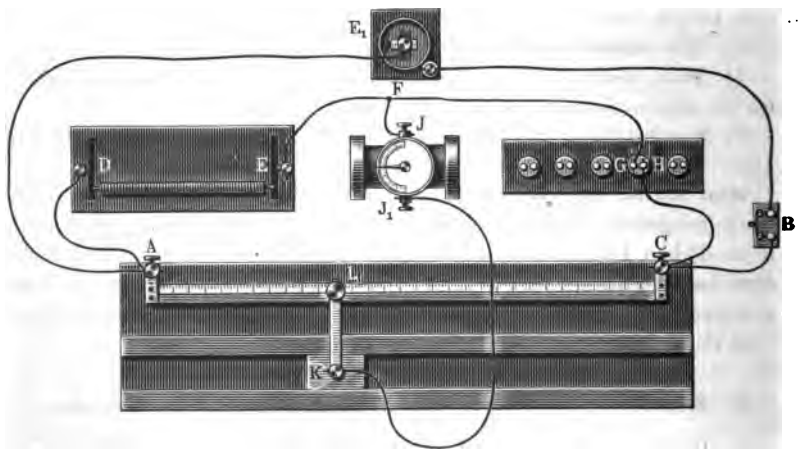


Fig. 237.



dicken Neusilber(Platiniridium- oder Nickelin-)draht aus und lässt den Verzweigungspunkt L längs desselben gleiten.

II. Apparat. Der Platindraht oder Messdraht AC (Fig. 236 [schematisch] und Fig. 237) ist längs eines in Centimeter getheilten Maassstabes ausgespannt, der auf einem grösseren Brette befestigt ist. Der Schlitten K, der in einer Schwalbenschwanzführung längs dieses Stabes verschiebbar ist, trägt eine Feder, an deren einem Ende unten eine Schneide angelöthet ist. Dieselbe kann durch Niederdrücken des Knopfes L mit dem Drahte in Contact gebracht werden. Das feste Ende der Feder ist mit einer Klemmschraube K versehen. Man schaltet zwischen A und F den zu bestimmenden Widerstand W_x, zwischen F und C gewisse bekannte Widerstände O und in die Brückenleitung FL ein Galvanometer JJ_1 ein; bei B ist noch ein Unterbrecher eingeschaltet. Das Galvanometer giebt einen Ausschlag, sobald durch FL ein Strom fliesst.

Der von dem Element E_1 ausgehende Strom verzweigt sich bei A in E_1FGH und ALC, von C geht er nach dem Element zurück. Drückt man die Feder bei L nieder, so ist eine Brücke FJK zwischen den beiden Zweigen hergestellt. Verschiebt man den Schlitten K und damit die Berührungsstelle L, so ändert sich das Verhältniss der beiden Theile des einen Zweiges. Man verschiebt L so lange, bis durch die Brücke kein Strom geht, dann ist (Fig. 236)

$$W_x : O = \text{Widerstand in } a : \text{Widerstand in } b.$$

Da der Platindraht AC an allen Stellen gleich dick ist, so verhält sich der Widerstand in a zu dem Widerstande in b wie die Länge von a zur Länge von b; es ist also:

$$W_x = O\,\frac{a}{b}.$$

Gemessen werden die oben schon bestimmten Widerstände auf den Holzspindeln.

Ausserdem werden hier benutzt: 1 m lange Drähte von verschiedenen Metallen und verschiedener Dicke. Sie sind auf etwas über meterlangen Holzlatten ausgespannt.

III. **Uebung 1.** Messung der Widerstände von Neusilberdrähten, welche auf Holzspindeln gewickelt sind.

1) Man stellt das Galvanometer so auf, dass die Nadel auf 0 zeigt, wenn kein Strom durch das Galvanometer geht.

2) Man schaltet zwischen G und H so viel Ohm zur Vergleichung ein, dass die Nadel des Galvanometers zur Ruhe kommt, wenn der Schleifcontact L ziemlich nahe in der Mitte der Scala steht (die Kupferbügel an der Holzspindel müssen immer gut amalgamirt sein und in das Quecksilber eintauchen) und bestimmt so:

a) den Widerstand der beiden kurzen Spindeln;
b) den Widerstand der beiden langen Spindeln;
c) den Widerstand des halb so dicken Drahtes;
d) den Widerstand der beiden langen Spindeln neben einander.

Durch diese Messungen findet man die Richtigkeit der Formel $W = \varepsilon \frac{l}{q}$ bestätigt.

Uebung 2. Bestimmung eines unbekannten Zuleitungswiderstandes w_x.

Zwischen D und A wird statt des vorher zur Verbindung dienenden Kupferdrahtes von verschwindendem Widerstand ein Stück eines dünnen Neusilberdrahtes von dem unbekannten Widerstande w_x eingeschaltet.

Es soll gleichzeitig bestimmt werden der Widerstand des Neusilberdrahtes auf einer Holzspindel W_x und der Widerstand w_x in der Zuleitung (die Widerstände der dicken, kupfernen Zuleitungsdrähte können vernachlässigt werden).

Dies geschieht durch eine Doppelmessung bei Vertauschung der Widerstände W_x und O.

1) Man bestimmt den Widerstand, wenn W_x zwischen D und E eingeschaltet ist. Man erhält:

$$W_x + w_x = O \cdot \frac{a_1}{b_1}, \quad \text{oder} \quad w_x = O \cdot \frac{a_1}{b_1} - W_x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

2) Man schaltet die Widerstände um, so dass der Widerstandskasten zwischen D und E eingeschaltet ist und bestimmt den Widerstand; jetzt ist:

$$O + w_x = W_x \frac{a_2}{b_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

woraus sich ergiebt:

$$W_x = O \frac{1 + \frac{a_1}{b_1}}{1 + \frac{a_2}{b_2}}.$$

Hat man nach dieser Formel W_x ausgerechnet, so erhält man w_x aus Formel 1) unmittelbar. Bei genauen Messungen oder bei der Messung sehr kleiner Widerstände bestimmt man auf diese Weise die Widerstände der Zuleitungen, die dann nicht mehr zu vernachlässigen sind.

Beispiel: $O = 10\ \Omega$, $a_1 = 56$, $b_1 = 44$ cm; $a_2 = 57$, $b_2 = 43$ cm. $W_x = 9{,}8\ \Omega$, $wx = 2{,}9\ \Omega$.

Uebung 3. Bestimmung der specifischen Leitungswiderstände verschiedener Metalle.

1) Man schaltet die 1 m langen, auf Holzlatten ausgespannten Drähte zwischen D und E ein und bestimmt den Widerstand.

2) Man misst den Durchmesser D der Drähte mit dem Dickenmesser, der Querschnitt ist dann: $Q = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$ qmm.

Berechnung. Der Widerstand ist umgekehrt dem Querschnitt proportional. Wäre also der Querschnitt nicht Q qmm, sondern 1 qmm gewesen,

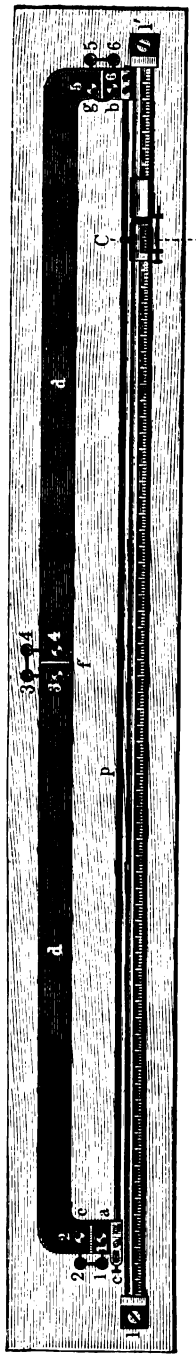


Fig. 238.

so hätten wir nicht W als Widerstand gefunden, sondern ε. Für den Querschnitt 1 ist also der Widerstand $= W \times Q$. Dieser Widerstand E ist der specifische Widerstand. $\frac{1}{\varepsilon} = A$ ist das specifische Leitvermögen.

Beispiel: Neusilber: $W = 0{,}37\ \Omega$; $d = 0{,}96$ mm; $Q = 0{,}72$ qmm; $\varepsilon = 0{,}27\ \Omega$; $A = 3{,}7$. Ebenso wurde gefunden für Eisen, Kupfer, Messing $A = 7{,}8$, 44,3, 13,6.

Bemerkung. Will man grössere Genauigkeit erzielen, so wendet man statt der benutzten einfachen Form der Wheatstone'schen Brücke die in Fig. 238 dargestellte, vollkommenere Form, und als stromanzeigendes Instrument ein empfindliches Spiegelgalvanometer (vergl. S. 407) an. Die Anordnung entspricht vollkommen der oben angegebenen. Der Brückendraht (ein 1 m langer, 1 mm dicker Neusilberdraht) ist zwischen den Kupferklötzen *a* und *b* ausgespannt (entsprechend den Punkten *A* und *C* in Fig. 237); je ein Ende der beiden zu vergleichenden Widerstände wird in die mit *a* und *b* in Verbindung stehenden Quecksilbernäpfe 1 und 6 getaucht; in dieselben Näpfe tauchen die von dem Elemente kommenden Drähte. *C* ist der auf dem Drahte gleitende Schleifcontact (entsprechend *L* in Fig. 237); derselbe gleitet auf einer dicken Messingstange, die bei *l* und *l'* von Messingträgern gehalten wird. Das Galvanometer wird einerseits mit dem Punkte *l* oder *l'* verbunden (entsprechend dem Punkte *K* in Fig. 237), andererseits mit den beiden noch nicht verbundenen Enden der zu vergleichenden Widerstände (Punkt *F* in Fig. 237). *d d* ist ein dicker Kupferstreifen, der bei den vorliegenden Messungen ausgeschaltet bleibt; die in der Figur gezeichneten, zu anderen Zwecken dienenden Verbindungen zwischen *a* und *c* und zwischen *b* und *g* oder den Quecksilbernäpfen 1 und 2 oder 5 und 6 bleiben bei den Widerstandsmessungen fort. Der Kupferstreifen ist sowohl zwischen *a* und *c* und *b* und *g*, als auch in der Mitte bei *f* zerschnitten und die einzelnen Theile sind durch eingelegte Elfenbeinstreifen von einander isolirt.

2. Aenderung des Widerstandes der Leiter erster Classe mit der Temperatur.

Gebraucht wird: Zwei Erwärmungskästen, Fig. 239 (einer auf Eisendreifuss), mit Thermometern und Brenner; je zwei Platin-, Messing- und Nickelindrahtspiralen; Wheatstone'sche Brücke.

Einleitung. Der Widerstand und die Leitfähigkeit der Leiter ändern sich mit der Temperatur. Bei den Leitern erster Classe (nur ganz wenige Legirungen machen eine Ausnahme) nimmt der Widerstand mit der Temperatur zu, die Leitfähigkeit ab; bei den Leitern zweiter Classe nimmt der Widerstand mit der Temperatur ab, die Leitfähigkeit zu.

Ist k_t die Leitfähigkeit bei t^0, k_{t_0} bei t_0^0, so ist

$$\alpha' = \frac{k_t - k_{t_0}}{(t - t_0)\, k_{t_0}} = \frac{1}{t - t_0}\left\{\frac{k_t}{k_{t_0}} - 1\right\},$$

die auf die Leitfähigkeit bei t_0^0 bezogene Aenderung der Leitfähigkeit für 1^0, zwischen t_0 und t^0. Gewöhnlich bezieht man die Aenderung auf die Leitfähigkeit k_0 bei 0^0, und hat dann

$$\alpha = \frac{k_t - k_{t_0}}{(t - t_0)\, k_0}.$$

Genauer stellt man die Leitfähigkeit bei verschiedenen Temperaturen durch einen Ausdruck von der Form dar:

$$k_t = k_0\,(1 + \alpha t + \beta t^2),$$

wo k_0 die Leitfähigkeit bei 0^0, α und β Constanten bedeuten, welche für die verschiedenen Leiter verschiedene Werthe haben.

Für die reinen Metalle hat α einen Werth sehr nahe an 0,00366, den Ausdehnungscoëfficienten der Gase.

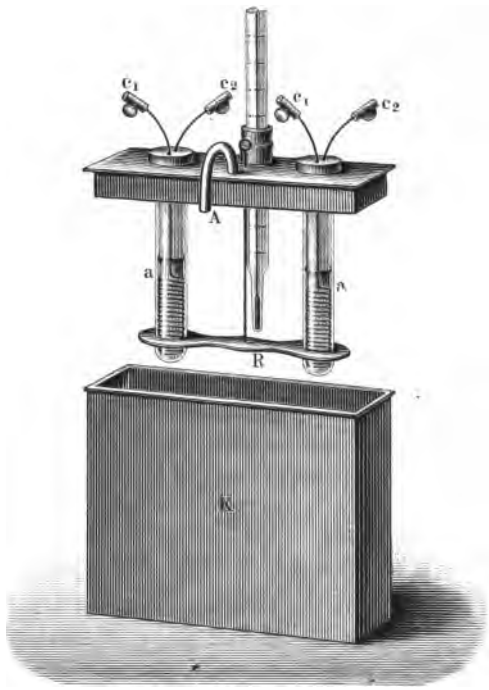
Princip der Methode. Man bestimmt das Verhältniss der beiden Widerstände w_{t_0} und w_t bei t_0^0 und t^0, indem man ihr Verhältniss x_{t_0} und x_t zu einem auf constanter Temperatur erhaltenen Widerstand ermittelt; w, die Grösse dieses dritten Widerstandes, wählt man so, dass sie der des zu untersuchenden Drahtes bei der Temperatur t_0 möglichst gleich ist. Aus

$$x_{t_0} = \frac{w_{t_0}}{w},\ x_t = \frac{w_t}{w} \quad \text{folgt} \quad \frac{k_t}{k_{t_0}} = \frac{x_{t_0}}{x_t}.$$

II. Apparat. Um das untere Ende von je einer 15 cm langen, 2 cm dicken Holzspindel a (Fig. 239), welche oben einen breiteren Kopf hat, sind dünne Drähte von Platin, Messing und Nickelin gewickelt. Das untere Ende dieser Drähte ist an einen durch die Axe der Spindel gehenden dicken Kupferdraht, das obere an einen solchen, der an der Seite der Holzspindel entlang läuft, angelöthet; die oberen Enden der beiden Kupferdrähte tragen Klemmschrauben c_1 und c_2.

Die Holzspindeln sind in mit Oel gefüllte Probirröhren gesteckt; je zwei Spindeln, z. B. eine mit Platindraht und eine mit Nickelindraht bewickelte, stecken mit ihren Probirröhren in dem Deckel *D* eines rechteckigen Blechkastens *K*. Durch diesen Deckel geht ferner ein durch einen Kork gehaltenes Thermometer, ferner ein Rührer *R* mit geeigneten Ausschnitten für die Probirröhren und ein Abzugsrohr *A* für die Dämpfe. Zum Erwärmen der Drähte wird der Kasten *K* mit Wasser gefüllt, auf einen Dreifuss gestellt und eine Bunsenflamme darunter gesetzt.

Fig. 239.



Mit jeder Drahtsorte sind zwei Spindeln bewickelt, die eine wird in einen Kasten gesteckt, der erwärmt wird, die andere in einen zweiten, dessen Temperatur man constant erhält.

Die Widerstandsbestimmungen werden an der Wheatstone'schen Brücke (S. 385) angestellt.

III. **Uebung.** 1) Man füllt die beiden Blechkästen mit Wasser, setzt je eine Platindraht- und eine Nickelindrahtspirale ein, und schaltet dieselben in entsprechende Zweige einer Wheatstone'schen Drahtcombination.

2) Man liest die Temperatur beider Wasserbäder t_0 ab. Man bestimmt das Verhältniss x_{t_0} der Widerstände der beiden Platindrähte und das entsprechende x'_{t_0} der Widerstände der beiden Nickelindrähte.

3) Man erwärmt den einen Kasten, bis das Wasser siedet und liest die Siedetemperatur ab. Nach wiederholtem Umrühren bestimmt man wieder das Verhältniss x_t und x'_t für die beiden Platindrähte und für die beiden Nickelindrähte.

4) Man berechnet nach der oben gegebenen Gleichung $k_t/k_{t_0} = \alpha'$. α' ist für das Platin weit grösser als für das Nickelin. Letzteres ist eine Legirung mit sehr kleinem Aenderungscoëfficienten; solche Legirungen muss man zur Herstellung der Widerstandsetalons verwenden.

3. Leitfähigkeit der Elektrolyte.

Gebraucht wird: Widerstandsgefässe im Wasserbade mit Rührer und Thermometer; kleines Inductorium; Filzplatte; Chromsäureelement; Kohlrausch'sche Brückenwalze oder Wheatstone'sche Brücke mit Widerstandskasten; Leitungsdrähte; eine fünfprocentige Chlorkaliumlösung; eine moleculare und eine zehntel-moleculare Chlorkaliumlösung; Pipette von 10 cbcm; Messkolben von 100 und 1000 cbcm Gehalt.

Einleitung. Die specifische Leitfähigkeit A von Lösungen wird in derselben Weise wie diejenigen von Leitern erster Classe definirt, sie ist, wenn ε der specifische Widerstand ist, auch hier $A = \frac{1}{\varepsilon}$.

Für die Beziehung zwischen Procentgehalt p und Leitvermögen A kann man die Interpolationsformel aufstellen:

$$A = ap + bp^2 + cp^3 \quad . \quad . \quad .$$

Es ist dann für reines Wasser also $p = o$, $A = o$.

Der Procentgehalt ist hier so verstanden, dass in 100 Gewichtstheilen Lösung p Gewichtstheile Salz enthalten sind. Statt p kann man zweckmässiger die Anzahl m der Grammäquivalente im Liter der Lösung einführen, wobei als Temperatur $t = 18^0$ angenommen ist. Für verdünnte Lösungen gilt dann die Gleichung

$$A = \mu_1 m - \mu_2 m^2,$$

wo μ_1 und μ_2 zwei Constanten sind. Die im Liter vorhandenen m Molecüle des Salzes bedingen eine durch die Leitfähigkeit A bestimmte Ueberführung der Elektricität; jedes derselben hat daran einen Antheil $\mu = A/m = \mu_1 - \mu_2 m$; diese Grösse μ heisst das moleculare Leitvermögen oder die moleculare Leitfähigkeit der Substanz in der betreffenden Lösung.

Von besonderm Interesse ist der Werth μ_∞, den μ in unendlich verdünnten Lösungen annimmt.

I. Princip der Methode. Würde man irgend einen Elektrolyten in den Zweig W_x der Wheatstone'schen Combination (Fig. 236) einschalten, so würde man nur in ganz speciellen Fällen sichere Bestimmungen der Leitfähigkeiten ausführen können, da an den Elektroden sich die elektrolytisch ausgeschiedenen Substanzen ansammeln und sei es Polarisationen hervorrufen, sei es einen Uebergangswiderstand erzeugen würden. Beide Erscheinungen lassen den beobachteten Widerstand zu gross erscheinen. F. Kohlrausch hat dies dadurch vermieden, dass er die alternirenden Ströme eines Inductoriums an Stelle der Ströme einer galvanischen Batterie verwendet; die durch einen ersten Inductionsstrom erzeugte Polarisation wird durch den zweiten, dem ersten entgegengesetzt gerichteten aufgehoben u. s. f. Die abwechselnd gerichteten Ströme

lassen sich nicht durch ein Galvanometer beobachten. F. Kohlrausch ersetzt dasselbe daher durch ein Telephon, das er an seiner Stelle einschaltet; sobald durch dieses kein Strom fliesst, hört man keinen Ton.

Man füllt ein Gefäss von passenden Dimensionen, in das zwei platinirte Platinplatten als Elektroden tauchen, mit einer Flüssigkeit, deren specifische Leitfähigkeit Λ_1 bekannt ist (ermittelt durch Messung an einem Widerstandsgefäss von bekannter Länge und bekanntem Querschnitt). Der Widerstand der Flüssigkeit in unserem Gefäss sei w_1. Dann füllt man das Gefäss mit der Flüssigkeit, deren specifische Leitfähigkeit Λ_2 gefunden werden soll; ihr Widerstand sei w_2. Da bei den Messungen von w_1 und w_2 sich die Dimensionen der Apparate nicht geändert haben, so ist

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1} \text{ und } \Lambda_2 = \frac{w_1}{w_2} \cdot \Lambda_1.$$

Als Flüssigkeiten von bekanntem Λ_1 zur Auswerthung des Widerstandes w_1, der sogenannten Capacität des Gefässes, kann man z. B. folgende verwenden (t ist die Temperatur).

KCl-Lösung von 5 Proc., spec. Gew. = 1,0308 bei 18°:

$$\Lambda_1 = 0{,}00000645\ [1 + 0{,}0202\ (t - 18)];$$

wässerige Schwefelsäure von 30,4 Proc. H_2SO_4, spec. Gew. = 1,224:

$$\Lambda_1 = 0{,}00006914 + 0{,}00000113\ (t - 18);$$

gesättigte NaCl-Lösung von 26,4 Proc. NaCl spec. Gew. = 1,201:

$$\Lambda_1 = 0{,}00002015 + 0{,}00000045\ (t - 18);$$

Bittersalzlösung von 17,3 Proc. $MgSO_4$ (wasserfrei), spec. Gew. = 1,187:

$$\Lambda_1 = 0{,}00000456 + 0{,}00000012\ (t - 18);$$

Essigsäure von 16,6 Proc. $C_2H_4O_2$, spec. Gew. = 1,022:

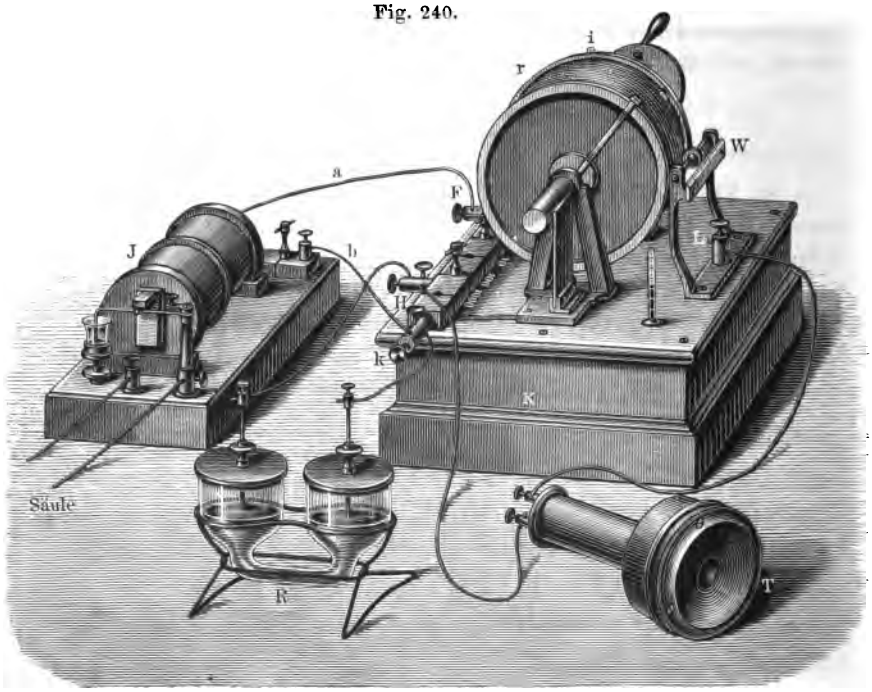
$$\Lambda_1 = 0{,}000000152 + 0{,}0000000027\ (t - 18).$$

II. Apparat nach F. Kohlrausch (Fig. 240, a. f. S.). Als Stromquelle dient ein kleines Inductorium (J); dasselbe kann wesentlich kleiner sein, als das in der Fig. 240 (a. f. S.) gezeichnete; man setzt es in das Nebenzimmer oder in einen mit Filz vollständig ausgelegten Kasten; als Telephon dient am besten ein Hörtelephon (T) von Ericson; um nicht durch das Geräusch der Umgebung gestört zu werden, bringt man in das andere Ohr Watte oder ein Antiphon.

Der Messdraht der Wheatstone'schen Brücke ist auf einen Marmorcylinder in 10 Windungen gewickelt. Der verstellbare Contact besteht in einem kleinen, mit einer Rinne versehenen Neusilberrädchen, das sich auf einem horizontalen Neusilberstabe verschiebt und dessen Stellung an einer von 1 bis 10 gehenden Theilung W abgelesen wird; die abgelesene Zahl giebt die Anzahl der ganzen Windungen zwischen dem Anfangspunkt und dem Contacträdchen. Auf dem Rande des Marmorcylinders

ist eine Theilung von 0 bis 100 angebracht, welche sich an einem Index i vorbeidreht. Anfang und Ende des Neusilberdrahtes liegen an einander gegenüber liegenden Stellen, welche dem Nullpunkt entsprechen. Setzt man den Gesammtwiderstand der Neusilberspirale $= 1000$, so wird bei jeder ganzen Umdrehung ein Widerstand $= 100$ eingeschaltet, bei jedem Theil einer Umdrehung im Draht die beim Index stehende Zahl auf dem Rande der Walze. Steht z. B. das Contacträdchen auf 3, der Index in der Mitte zwischen 76 und 77, so ist eine Länge 376,5 eingeschaltet

Fig. 240.



und das Verhältniss der Widerstände beider Stücke des Messdrahtes links und rechts von dem Contacträdchen ist 376,5 : 623,5.

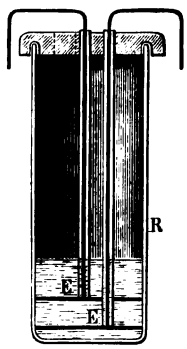
Die beiden Enden der secundären Spirale des Inductoriums sind mit den Klemmschrauben k und F verbunden; zu k und F führen weiter Drähte, welche mit Metallfedern verbunden sind, die auf den von einander isolirten Enden der Axe des Cylinders schleifen, mit diesen sind durch dicke Kupferdrähte Anfang und Ende des Messdrahtes verbunden. Mit den durch 1000, 100, 10 Ω etc. bezeichneten Messingklötzen sind entsprechende Widerstände O verbunden, die im Inneren des Kastens K sich befinden.

Der von dem einen Pol der Inductionsspirale ausgehende Strom durchfliesst den Draht a und theilt sich in zwei Zweige, die sich in k

wieder vereinigen; von dem Vereinigungspunkt führt der Draht b zum zweiten Pol des Inductoriums. Der eine Zweig geht durch den Messdraht, der andere Zweig durch einen bestimmten, durch Ausziehen eines Stöpsels eingeschalteten Widerstand O (in der Fig. 10 Ω) und das Widerstandsgefäss R. Die Brücke, in die das Telephon eingeschaltet ist, verbindet die mit dem Contacträdchen verbundene Klemmschraube L und die Klemmschraube H, den Vereinigungspunkt des Widerstandes O und das Gefäss R.

Die Widerstandsgefässe R haben für Flüssigkeiten von mittlerem Widerstande die Gestalt R, Fig. 240, für solche von grossem Widerstande die Gestalt Fig. 241. Die Elektroden E bestehen aus platinirten Platinblechen von mindestens 10 qcm Querschnitt. Man platinirt dieselben am bequemsten, indem man sie in verdünnte Platinchloridlösung taucht, ihnen eine Platinplatte gegenüberstellt und einen Strom hindurch schickt, wobei sie mit dem negativen Pol verbunden sind.

Fig. 241.



Die Enden der mit den Elektroden verbundenen Platindrähte verbindet man mit den Klemmschrauben.

III. **Uebung 1.** Vorübung. Man füllt irgend eine Lösung in das Widerstandsgefäss ein.

Um den Widerstand x derselben zu bestimmen, verfährt man folgendermaassen:

1) Man schaltet durch Ausziehen eines Stöpsels einen bekannten Widerstand O ein.

2) Man setzt das Inductorium in Gang.

3) Man hält das Telephon an das Ohr und dreht die Walze so lange, bis der Ton verschwindet. An dieser Stelle hält man an. Durch abwechselndes Herankommen an diese Stelle von beiden Seiten, bis man keinen Ton mehr hört, lässt sie sich genauer feststellen.

4) Man liest die Stellung a des Contacträdchens und diejenige des Index ab, dann ist (vergl. S. 382)

$$x : O = a : 1000 - a \quad \text{und} \quad x = O \frac{a}{1000 - a}.$$

5) Man schaltet statt O andere bekannte Widerstände, O_1, O_2 . . ., ein und prüft, ob man für x dieselben Werthe erhält.

Uebung 2. 1. Aichung des Gefässes.

1) Man bestimmt von einer fünfprocentigen Chlorkaliumlösung (50 g im Liter) den Widerstand w_1, dabei schaltet man so viel Widerstand O ein, dass das Contacträdchen, wenn ein Ton im Telephon nicht mehr zu hören ist oder seine Stärke doch ein Minimum wird, etwa in der Mitte von W steht. Diese Stellung des Contacträdchens sei a.

Dann ist

$$w_1 = O \frac{a}{1000 - a}.$$

Die Leitfähigkeit Λ_1 dieser Lösung ist auf S. 389 gegeben. Findet man demnach für eine beliebige andere Lösung bei demselben Abstande der Elektrodenplatten den Widerstand w_2, so ist die Leitfähigkeit dieser Lösung

$$\Lambda_2 = \frac{w_1 \Lambda_1}{w_2}.$$

2. Bestimmung der molecularen Leitfähigkeit.

1) Man füllt das bei 1. benutzte Widerstandsgefäss mit einer Chlorkaliumlösung, welche ein Grammmolecül (also 74,5 g) im Liter enthält und bestimmt den Widerstand w_2^1, dann ist die Leitfähigkeit

$$\Lambda_2^1 = \frac{w_1 \Lambda_1}{w_2^1}.$$

Die Anzahl m der Grammäquivalente im Liter ist $= 1$, also die moleculare Leitungsfähigkeit

$$\mu_1 = \frac{w_1 \Lambda_1}{w_2^1}.$$

2) Man führt die Bestimmung für eine Chlorkaliumlösung aus, welche $m = 1/10$ Grammmolecül im Liter enthält; ist w_2^{10} der gefundene Widerstand, so ist die Leitungsfähigkeit

$$\Lambda_2^{10} = \frac{w_1 \Lambda_1}{w_2^{10}},$$

die moleculare Leitungsfähigkeit also

$$\mu_{10} = 10 \frac{w_1 \Lambda_1}{w_2^{10}}.$$

3) Man pipettirt 10 cbcm der $1/10$-molecularen Lösung in einen Messkolben von 100 cbcm Inhalt ab und füllt auf 100 cbcm auf; man bestimmt den Widerstand w_2^{100}; dann ist

$$\Lambda_2^{100} = \frac{w_1 \Lambda_1}{w_2^{100}} \quad \text{und} \quad \mu_{100} = 100 \frac{m_1 \Lambda_1}{w_2^{100}}.$$

4) Man pipettirt von der $1/10$-molecularen Lösung 10 cbcm ab und füllt auf 1000 cbcm auf; ist w_2^{1000} der gefundene Widerstand, so ist

$$\Lambda_2^{1000} = \frac{w_1 \Lambda_1}{w_2^{1000}} \quad \text{und} \quad \mu_{1000} = 1000 \frac{w_1 \Lambda_1}{w_2^{1000}}.$$

Bemerkung. Bei diesen Versuchen muss das zur Herstellung der Lösungen verwendete Wasser so rein sein, dass man die Leitfähigkeit desselben vernachlässigen kann.

Allgemeines.

Das moleculare Leitvermögen wächst, sobald die Verdünnung eine gewisse Grenze überschritten hat, mit zunehmender Verdünnung und

nähert sich mehr und mehr einem Grenzwerthe μ_∞, wie z. B. aus den erhaltenen Messungen am Chlorkalium hervorgeht. Bei grossen Concentrationen treten bei einzelnen Substanzen, Schwefelsäure etc., Maxima und Minima des Leitvermögens ein.

Das Leitvermögen kann man definiren als diejenige Stromstärke, welche die elektromotorische Kraft Eins in einem Leiter von der Länge und dem Querschnitt Eins erzeugt. Da in Elektrolyten die Elektricität durch die einzelnen Salzmolecüle übergeführt wird, so ist die Menge der durch den Querschnitt gegangenen Elektricität proportional der Zahl der Molecüle, die durch den Querschnitt gewandert sind. Diese ist proportional der Anzahl m der in der Volumeinheit der Lösung befindlichen Molecüle und der Geschwindigkeit, mit der sie durch den Querschnitt wandern. Die Geschwindigkeit ist aber die Summe der Theilgeschwindigkeiten der Molecülreste, d. h. der Ionen, in die bei der Elektrolyse primär die Salzmolecüle zerfallen. Daraus folgt

$$\Lambda = (u + v)\,m;$$

$u + v$ ist eine Function von Lösungsmittel, Concentration etc.

Bei sehr verdünnten Lösungen, wo $u + v = \mu$, d. h. gleich dem molecularen Leitungsvermögen (s. w. u.) ist, ist der die Bewegung hemmende Einfluss der Salzmolecüle auf die Bewegungen sehr unbedeutend und nur derjenige des Lösungsmittels zu berücksichtigen. Bei solchen verdünnten Lösungen kann man die moleculare Leitfähigkeit demnach durch die Addition zweier Constanten erhalten, von denen die eine dem positiven, die andere dem negativen Ion zukommt.

Nach der oben angeführten Theorie (S. 174) nehmen S. Arrhenius, Ostwald u. A. an, dass die Elektrolyte von vornherein in ihren Lösungen ganz oder zum Theil in ihre Ionen zerfallen sind und nicht erst durch den Strom ein solcher Zerfall hervorgerufen wird. Nur die in ihre Ionen zerfallenen Molecüle sollen leiten. In sehr verdünnten Lösungen soll der Zerfall ein vollkommener sein, in concentrirteren ein weniger vollkommener, und sich daraus die geringere moleculare Leitfähigkeit der letzteren erklären.

Ist μ_∞ die moleculare Leitfähigkeit für unendlich verdünnte Lösungen, μ diejenige für irgend eine verdünnte Lösung, so wäre nach dieser Theorie das Verhältniss der in die Ionen dissociirten Molecüle zu den nicht dissociirten:

$$x = \frac{\mu}{\mu_\infty}.$$

Der Dissociationsgrad x eines gelösten Elektrolyts bei irgend einer Verdünnung wäre demnach gleich dem Verhältniss der molecularen Leitfähigkeit bei dieser Verdünnung zu derjenigen bei unbegrenzt grosser Verdünnung.

4. Bestimmung des Widerstandes galvanischer Elemente.

I. Princip. Man verfährt genau ebenso, wie bei der Bestimmung des Widerstandes von Leitern zweiter Classe unter Anwendung der Brückenwalze und des Telephons, welches der constante Strom des Elementes nicht beeinflusst.

II. **Uebung.** Man bestimmt den Widerstand:

1) Eines grossen Leclanché'schen Elementes W_1.

2) Eines kleinen Leclanché'schen Elementes w_1.

3) Zweier kleiner Leclanché'scher Elemente w_2^h, die hinter einander geschaltet sind.

4) Zweier kleiner Leclanché'scher Elemente, die neben einander geschaltet sind, w_2^n.

Es ist $W_1 < w_1$, $w_2^h = 2\,w_1$, also doppelt so gross als der eines einzigen, $w_2^n = \frac{w_1}{2}$ also halb so gross als der eines einzigen.

V. Elektromotorische Kraft.

1. Bestimmung der elektromotorischen Kraft mit dem Elektrometer.

Gebraucht wird: Hankel's Goldblattelektrometer, Fig. 242; Commutator auf isolirenden Säulen; Säule von circa 100 bis 150 Zn-Wasser-Cu-Elementen; Quadrantelektrometer; ein Daniell-, ein grosses Leclanché- und zwei kleine Leclanché-Elemente; ein Chromsäure-Element; Verbindungsdrähte.

A. Bestimmungen mit dem Hankel'schen Elektrometer.

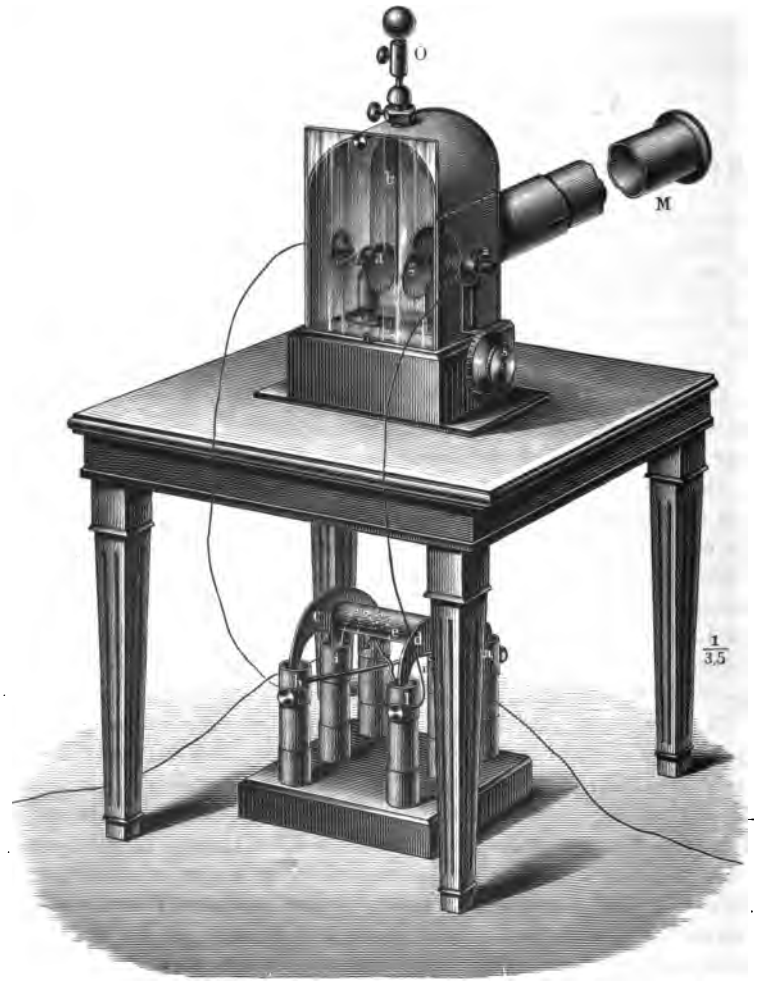
I. Princip. Verbinden wir mit dem Pole einer Kette einen Körper, etwa ein vertical hängendes Goldblatt, so nimmt er eine Elektricitätsmenge auf, welche der elektromotorischen Kraft der Kette proportional ist. Hängen wir ein solches Goldblatt *b* zwischen zwei Metallplatten *a* und *g* auf, denen wir durch Verbindung mit den Polen einer vielpaarigen Säule constante Elektricitätsmengen zuführen, so wird das Goldblatt von der mit gleichnamiger Elektricität beladenen Platte abgestossen, von der anderen angezogen, ausserdem sucht die Schwere dasselbe in der verticalen Lage zu erhalten. Die Ausschläge α des Endes des Goldblättchens sind proportional der Elektricitätsmenge, mit der es geladen ist, also proportional der elektromotorischen Kraft der untersuchten Kette.

II. Appparat. Bei dem Hankel'schen Elektrometer (Fig. 242, a. f. S.) sind *a* und *g* die beiden Platten, zwischen denen das Goldblatt *b* hängt. Mittelst der Mikrometerschraube *s* und einer analogen auf der anderen Seite werden dieselben dem Goldblatt genähert und von ihm entfernt und dadurch die Empfindlichkeit geändert und der Apparat regulirt (s. w. u.). Zu den mit den Platten *a* und *g* verbundenen Klemmschrauben führen Drähte von dem Commutator *c*, der selbst mit den Polen einer vielpaarigen Batterie in Verbindung steht. Durch Umlegen des Bügels kann man *a* und *g* abwechselnd mit entgegengesetzten Elektricitäten laden. Die Klemmschraube *O* dient zur Verbindung des Goldblattes mit dem zu untersuchenden Element. Die Ausschläge des Goldblattes werden mit dem Mikroskop *M* mit Ocularmikrometer gemessen.

Die Batterie setzt man aus 100 und mehr Reagirgläsern von etwa 1 bis 2 cm Weite und 6 bis 7 cm Höhe zusammen, welche reihenweise in einem mit Paraffin ausgegossenen Holzkasten stehen; die einzelnen Reihen sind durch Glasstreifen von einander getrennt. Die Gläser werden mit Wasser gefüllt und durch $\cap$-Bügel von etwa $^1/_2$ cm Breite und 9 cm

Schenkellänge verbunden, deren einer Schenkel aus einem Kupferblech, deren anderer aus einem Zinkblech besteht, die oben verlöthet sind. In jedem Glase befindet sich der Kupferschenkel des einen und der Zink-

Fig. 242.



schenkel des folgenden Bügels. In die Endgläser wird dem Zink- und Kupferschenkel der letzten Bügel gegenüber noch je eine einzelne Kupfer- und Zinkplatte eingesenkt, die mit Klemmschrauben versehen sind. Diese Platten werden mit den Platten *a* und *g* des Elektrometers verbunden.

III. **Uebung.** Man verbindet 1) *b* mit dem einen Pole einer andererseits isolirten Normalkette, etwa eines Daniell'schen oder Clark'schen

Elements von der elektromotorischen Kraft E_1, der Ausschlag sei $+ \alpha_1'$. Man legt den Commutator um, der Ausschlag sei $- \alpha_1''$, man ändert die Stellung der Platten a und g so lange, bis $+ \alpha_1'$ und $- \alpha_1''$ einander gleich werden und zwar gleich α_1.

2) Man verbindet b mit dem einen Pol der zu untersuchenden Kette von der elektromotorischen Kraft E_2, der Ausschlag sei α_2, dann ist sehr nahe

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}.$$

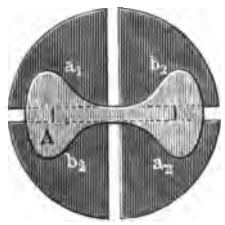
3) Man verbindet b mit dem anderen Pole der zu untersuchenden Kette und überzeugt sich, dass der Ausschlag denselben Werth wie eben hat.

4) Man leitet den unverbundenen Pol zur Erde ab, dann steigt der Ausschlag, also auch die Spannung an dem mit dem Elektrometer verbundenen auf die doppelte Höhe.

B. Bestimmungen mit dem Quadrantelektrometer.

I. Princip. Wir hängen über den vier quadrantenförmigen Metallplatten $a_1 a_2$, $b_1 b_2$, Fig. 243, von denen a_1 und a_2, b_1 und b_2 mit einander verbunden sind, das lemniscatenförmige Metallblech A „die Nadel" auf. A wird mit dem einen Pole einer vielpaarigen Säule verbunden, etwa dem positiven, während der negative zur Erde abgeleitet ist, a_1 und a_2 werden mit dem einen, etwa dem positiven, b_1 und b_2 mit dem anderen, etwa dem negativen Pole der zu untersuchenden Säule verbunden, dann dreht sich A so, dass seine Längsaxe über b_1 und b_2 liegt. Die Gleichgewichtslage tritt ein, wenn die durch die Drehung bei unifilarer Aufhängung der Nadel entwickelte Torsionskraft, bei bifilarer, wenn die durch die Schwere bedingte rücktreibende Kraft und die Torsion der Aufhängefäden den elektrischen Kräften das Gleichgewicht hält. Die Grösse der Drehung ist nahe proportional den auf $a_1 a_2$, $b_1 b_2$ befindlichen Elektricitätsmengen, also nahe proportional der elektromotorischen Kraft der untersuchten Kette.

Fig. 243.



II. Apparat. Auf einem Messingdreifuss dreht sich auf einem Zapfen eine Messingplatte, auf der drei Messingsäulen eine ebene Messingplatte tragen. An der unteren Platte sind auf Glasfüssen die vier Quadranten angebracht, von denen je zwei gegenüberliegende mit einander verbunden sind (der eine ist in der Fig. 244, a. f. S., fortgenommen), zwischen denen sich die Nadel befindet. Die Nadel hat zweckmässig die Gestalt der Fig. 245. An ihrer unteren Seite ist ein Draht befestigt, dessen unteres Ende zu einem, in ein Gefäss mit Schwefelsäure tauchenden Ring umgebogen ist. Dies Gefäss steht in einem zweiten, um das Ueberlaufen der Schwefelsäure, wenn sie Wasser anzieht, zu verhindern. Durch den Deckel gehen frei durch kleine Löcher, ohne den Deckel zu berühren,

die zu den Quadranten I und II und der Schwefelsäure III führenden Drähte. Eine auf den Deckel und die Bodenplatte aufgeschliffene (in der Figur nicht gezeichnete) Blechtrommel dient zum Bedecken des Apparates. Der in der Mitte durchbohrte Deckel trägt die Vorrichtung zum Aufhängen der Nadel, die fast ganz in derselben Weise, wie bei dem Galvanometer S. 407 eingerichtet ist. Nur der oberste Theil ist anders construirt. Die Glasröhre trägt eine Fassung *O*, in der sich ein Messingstab verschieben und durch eine Schraube feststellen lässt. Der Stab ist unten aufgeschlitzt und conisch verjüngt. Seine beiden Hälften tragen dort zwei kleine Löcher, in welche die Enden eines Coconfadens gebunden werden, in dessen Mitte unten der zu einem Haken gebogene Draht, welcher die Nadel trägt, eingehängt ist. Der Stab ist axial durchbohrt, die Durchbohrung verläuft unten conisch. Durch Einschrauben eines unten halbkugelförmigen Metallstabes *S* kann man die Löcher am unteren Ende von einander entfernen und

Fig. 244.

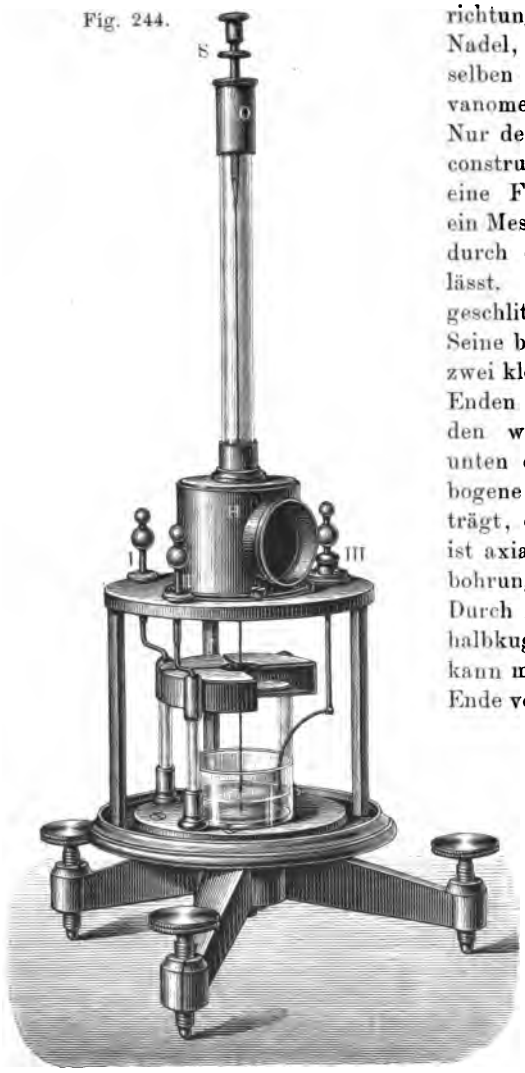
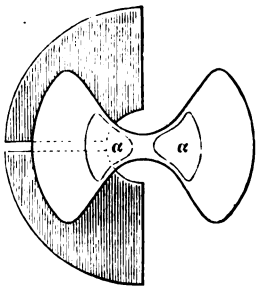


Fig. 245.



dadurch den Abstand der Coconfäden verändern, wodurch die Empfindlichkeit eine andere wird. Vor dem Spiegel, der an dem die Nadel tragenden Drahte befestigt ist und der in der Hülse *H* schwebt, ist ein Fernrohr mit Scala aufgestellt.

Uebung. 1) Man stellt das Fernrohr senkrecht zu dem Spiegel (s. S. 137).

2) Man verbindet die Nadel erst mit dem positiven Pol der vielpaarigen Säule und dann mit dem negativen; sind die Ausschläge nicht gleich, so dreht man die Nadel mit der Glasröhre etc. so lange, bis die Ausschläge gleich werden.

3) Man verfährt im Uebrigen gerade so, wie beim Hankel'schen Elektrometer.

2. Bestimmung durch Vergleichung mittelst des Galvanometers nach Fechner.

Gebraucht wird: Galvanometer, Magnetstab und Tischchen zum Astasiren; Fernrohr und Scala; Rheostat; Daniell-, Chromsäure-, verschiedene Leclanché-Elemente; Unterbrecher; Verbindungsdrähte.

I. Princip. Bildet man einen Schliessungskreis aus einem Elemente von der elektromotorischen Kraft E_1 und dem inneren Widerstande w_1, aus einem Rheostaten mit dem Widerstande W und einem empfindlichen Galvanometer, so ist die Stromstärke in diesem Kreise

$$i_1 = \frac{E_1}{w_1 + W + W'},$$

wenn W' den Widerstand aller Leitungsdrähte und des Galvanometers bezeichnet.

Schaltet man ein Element von der elektromotorischen Kraft E_2 und dem inneren Widerstande w_2 ein, so erhält man einen Strom von der Stärke

$$i_2 = \frac{E_2}{w_2 + W + W'}.$$

Ist der Widerstand $W + W'$ so gross im Vergleich zu den Widerständen in den Elementen w_1 und w_2, dass man diese letzteren gegen den ersteren vernachlässigen kann, so ist $E_1 : E_2 = i_1 : i_2$; die elektromotorischen Kräfte der beiden Elemente verhalten sich wie die am Galvanometer beobachteten Stromstärken.

Damit trotz der Grösse der eingeschalteten Widerstände der Ausschlag ein genügend grosser ist, muss das Galvanometer möglichst empfindlich sein.

II. Apparat. Verwendet wird ein empfindliches Galvanometer, welches nöthigenfalls astasirt wird, und ein grosser Widerstandskasten.

III. **Uebung.** 1) Man stellt das Galvanometer und das Fernrohr mit Scala nach den S. 137 gegebenen Vorschriften auf, macht das Galvanometer möglichst empfindlich resp. astasirt es.

2) Man schaltet einen grossen Widerstand des Rheostaten, ein Daniell-Element (elektromotorische Kraft E_1) und einen Unterbrecher, ein und schliesst den Strom.

3) Man ändert den Widerstand, bis der Ausschlag eine passende Grösse α_1 annimmt.

4) Man schaltet ein Chromsäureelement, ein grosses und ein kleines Leclanché-Element, zwei gleiche Leclanché-Elemente hinter und nebeneinander ein und liest die entsprechenden Ausschläge α_2, α_3 . . . ab.

Die Ausschläge verhalten sich nahe wie die Stromintensitäten.

Man erhält also:

$$E_2 = E_1 \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \text{ Daniells} = 1{,}1 \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \text{ Volts u. s. w.}$$

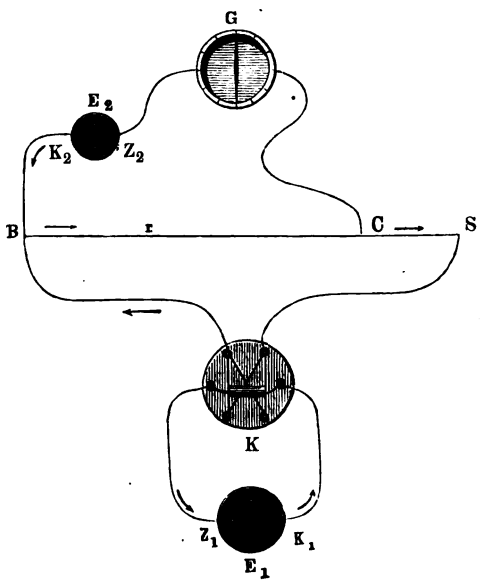
Diese Methode ist wegen der Polarisation im Element nicht sehr genau.

3. Bestimmung nach dem Compensationsverfahren von Du Bois-Reymond.

Gebraucht wird: Wheatstone'sche Brücke nebst Zubehör. Elemente.

I. Princip. Schliessen wir eine Kette $Z_1 K_1$ von der elektromotorischen Kraft E_1 (Fig. 246) in einen Kreis $E_1\ BCS$ (wir denken uns zunächst den Theil $BE_2\ GC$ der Zeichnung fort), und ist der gesammte Widerstand des Schliessungskreises, in Ohm gemessen, W, so ist der Abfall der Spannung auf der Widerstandseinheit $\frac{E_1}{W}$. Besteht die Schliessung aus beliebigen Leitern, deren Widerstand plus dem inneren der Kette w_1 ist, und einem dünnen Draht BS von der Länge l und dem Widerstande w, so dass $W = w_1 + w$, so ist der Unterschied der Spannungen an den beiden Enden des Drahtes

Fig. 246.



$$\frac{E_1}{w_1 + w} \cdot w = \Delta.$$

Wir wollen E so gross annehmen und w so gross im Verhältniss zu W, dass der Abfall Δ wenigstens 3 Volt beträgt. Der Abfall der Spannung auf der Längeneinheit des Drahtes ist

$$\frac{E_1}{w_1 + w} \cdot \frac{w}{l},$$

auf einer Strecke $BC = r$

$$\Delta_r = \frac{E_1}{w_1 + w} \cdot \frac{w}{l} \cdot r.$$

Bei einem gegebenen Elemente E_2 sei der Unterschied der Spannungen an den beiden Polen, wenn dasselbe offen ist, E_2; bringen wir dieselben durch Drähte mit Stellen B und C des Drahtes BS in Berührung, zwischen denen derselbe Spannungsunterschied $\Delta_2 = E_2$ vorhanden ist, und die um r_2 von einander abstehen, so kann durch das Element kein Strom fliessen. Ein mit demselben in den Zweig BES eingeschaltetes Galvanometer G zeigt keinen Ausschlag. Dann ist

$$E_2 = \Delta_2 = \frac{E_1}{w_1 + w} \cdot \frac{w}{l} \cdot r_2.$$

Um aus dieser Gleichung E_2 zu erhalten, müsste man w, w_1, E_1 kennen, die nicht einfach zu bestimmen sind. Man schaltet daher statt des zu untersuchenden Elements ein Normalelement E_3 an Stelle von E_2 ein und erhält

$$E_3 = \Delta_3 = \frac{E_1}{w_1 + w} \cdot \frac{w}{l} \cdot r_3$$

und

$$\frac{E_2}{E_3} = \frac{r_2}{r_3} \qquad E_2 = E_3 \cdot \frac{r_2}{r_3}.$$

Das Verhältniss der elektromotorischen Kräfte ist gleich dem Verhältniss der auf dem Drahte l eingeschaltefen Längen, bei denen kein Strom durch das Galvanometer fliesst.

II. Apparat. Das Schema der Anordnung stellt die Fig. 246 dar: BS ist der Draht der Wheatstone'schen Brücke, K ist ein Commutator. Alles andere ergiebt sich ohne Weiteres.

III. **Uebung 1.** Bestimmung der elektromotorischen Kraft eines Leclanché-Elements. 1) Man setzt eine Säule von drei bis vier hinter einander geschalteten Bunsen'schen Elementen zusammen und schaltet sie an Stelle von E_3 ein, so dass auf dem Neusilberdrahte BS ein hinreichend grosser Potentialabfall stattfindet.

2) Man schliesst den Strom der Kette, hält einen der Leitungsdrähte über eine Magnetnadel und bestimmt die Richtung des Stromes nach der Ampère'schen Regel. Man öffnet den Strom wieder und verbindet den positiven Pol mit dem Ende B des Drahtes BS, der dem Anfange der Centimetertheilung auf dem Maassstabe entspricht, den negativen Pol mit dem anderen Ende. Der Unterbrecher ist dabei geöffnet.

3) Man verbindet mit dem Ende B den positiven Pol eines Normalelementes (Daniell), der negative Pol wird durch ein Galvanometer und einen langen Draht mit dem Schleifcontact C verbunden.

4) Man schliesst den Hauptstrom, verschiebt den Schleifcontact, bis das Galvanometer bei jeweiligem Stromschluss angenähert keinen Ausschlag zeigt; dabei wird der Messdraht heiss, man öffnet den Unterbrecher, lässt den Draht erkalten, schliesst wieder, aber nur ganz kurze Zeit, und bestimmt die Lage des Schleifcontactes genau, bei der kein Ausschlag stattfindet; sie sei r_D.

5) Man ersetzt das Daniell'sche Element durch ein kleines Leclanché und verfährt ebenso; die Lage des Schleifcontactes sei r_L, dann ist $E_L/E_D = r_L/r_D$.

Uebung 2. Bestimmung der elektromotorischen Kraft verschiedener Elemente. 1) Man ersetzt das kleine Leclanché durch ein grosses, die Lage des Schleifcontactes bleibt fast dieselbe, also auch die elektromotorische Kraft; die elektromotorische Kraft ist unabhängig von der Grösse der Elemente.

2) Man bestimmt für ein zweites kleines Leclanché die elektromotorische Kraft, dieselbe ist gleich der des ersten.

3) Man schaltet die beiden Leclanchés hinter einander, die elektromotorische Kraft ergiebt sich als die doppelte eines einzigen Elementes.

4) Man schaltet die beiden Leclanchés neben einander, die elektromotorische Kraft ist gleich der eines einzigen.

Beispiele:

	r	Daniells	Volts
Daniell	33 cm	1,00	1,10
Grosses Leclanché	40 „	1,21	1,33
Kleines „ a)	41 „	1,24	1,36
„ „ b)	40 „	1,21	1,33
Zwei Leclanché hinter einander	80 „	2,43	2,67
„ „ neben einander	40 „	1,21	1,33
Chromsäure-Element anfangs	60 „	1,82	2,00

Nach 5, 10, 15 Min., $r = 53, 52, 50$, $E = 1{,}606, 1{,}576, 1{,}502$ Dan. $= 1{,}77, 1{,}73, 1{,}65$ Volt.

Uebung 3. Aenderung der elektromotorischen Kraft mit der Zeit.

Apparat. Man verwendet die Wippe (Fig. 260). Mit c und c_1 verbindet man die Pole des Elementes, a und a_1 verbindet man durch einen veränderlichen Widerstand unter Einschaltung des Kohlrausch'schen Federgalvanometers, Fig. 226 und 227, S. 368.

Von den beiden Klemmschrauben C und C_1 wird die eine mit dem Anfang des Drahtes der Wheatstone'schen Brücke, die andere mit dem Schleifcontact an derselben verbunden.

Uebung. 1) Man bestimmt die elektromotorische Kraft der Kette.

2) Man legt den Bügel o so, dass die Kette in sich geschlossen ist; an dem Federgalvanometer sieht man, wie die Stromstärke immer kleiner wird.

3) Man legt die Wippe um und bestimmt die elektromotorische Kraft; dieselbe ist kleiner als vorher.

4) Man hebt den Schleifcontact auf und bestimmt nach einiger Zeit wieder die elektromotorische Kraft; sie ist wieder grösser geworden.

In einer geschlossenen Kette nimmt also mit der Zeit die elektromotorische Kraft ab. Wenn dieselbe eine Zeit lang geöffnet ist, steigt sie wieder an; der Grund dieser Erscheinung liegt in den sich in der geschlossenen Kette abspielenden Polarisationsvorgängen (s. d.).

VI. Tangentenbussole und Spiegelgalvanometer.

1. Tangentenbussole.

Gebraucht wird: Die Tangentenbussole; ein Wasserstoffvoltameter; ein Rheostat; Batterie von drei Bunsenelementen; Unterbrecher; Leitungsdrähte.

I. Princip. Führen wir etwa oberhalb einer Magnetnadel sn (Fig. 247) parallel zu derselben einen geradlinigten Strom von der Intensität i vorbei, so wirken auf die Pole der Magnetnadel, deren freie Magnetismen $\pm\mu$ sind, zwei Kräfte.

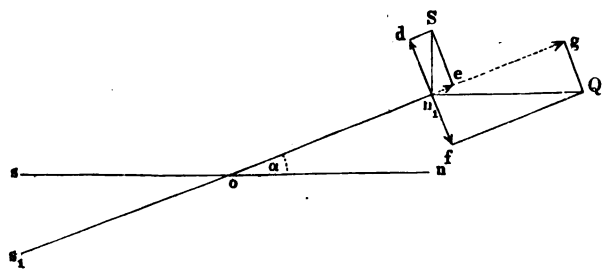
Die erste rührt her von der Wirkung der horizontalen Componente H des Erdmagnetismus; sie ist, wenn c eine Constante bedeutet:

$$A = c\,\mu\,H,$$

d. h. proportional dem freien Magnetismus μ der Nadel und der horizontalen Componente des Erdmagnetismus.

Die zweite rührt her von der elektromagnetischen Wirkung des

Fig. 247.



Stromes auf den Magnetpol; sie steht senkrecht auf der Stromesrichtung und ist, wenn c_1 eine Constante bedeutet:

$$B = c_1\,\mu\,i,$$

d. h. proportional dem freien Magnetismus μ und der Stromintensität.

Die Magnetnadel wird um einen Winkel α gedreht, und zwar bis die senkrecht zu ihrer Richtung stehende Componente $n_1 Q$ von A, also $n_1 f = A \,.\, sin\,\alpha$ gleich ist der entsprechenden Componente $n_1 S$ von B, also $n_1 d = B \,.\, cos\,\alpha$. Dann ist:

$$c\,\mu\,H \,.\, sin\,\alpha = c_1\,\mu\,i \,.\, cos\,\alpha,$$

$$i = \frac{c}{c_1} H \, tg \, \alpha,$$

oder wenn man $H . c/c_1$ mit K bezeichnet:

$$i = K \, tg \, \alpha.$$

K heisst der Reductionsfactor der Tangentenbussole.

Aendert sich also die Grösse der Horizontalcomponente des Erdmagnetismus nicht, so ist die Intensität des Stromes proportional der Tangente des Ablenkungswinkels.

II. Apparat. Die Tangentenbussole besteht aus einem kupfernen Ring o, der an seinen unteren Fortsätzen a und c mit den Klemmschrauben

Fig. 248.

b und d versehen ist. In der Mitte des Ringes schwebt auf einer Spitze eine kurze Magnetnadel. Mit derselben ist ein Glasfaden oder ein Streifen von Aluminium von grösserer Länge als Zeiger verbunden, dessen

Enden über einer Theilung schweben. Unter der Magnetnadel und ihren Fortsätzen ist ein horizontaler Spiegel befestigt. Man liest in der Weise ab, dass dabei das Spiegelbild des Zeigers sich mit dem Zeiger selbst deckt. Dann sieht man senkrecht auf die Theilung (vergl. S. 53). Der Ring *o* ist drehbar; man stellt ihn so, dass seine Ebene in die Richtung der Nadel fällt. Zur Bestimmung der Nulllage visirt man durch das Loch bei *o*.

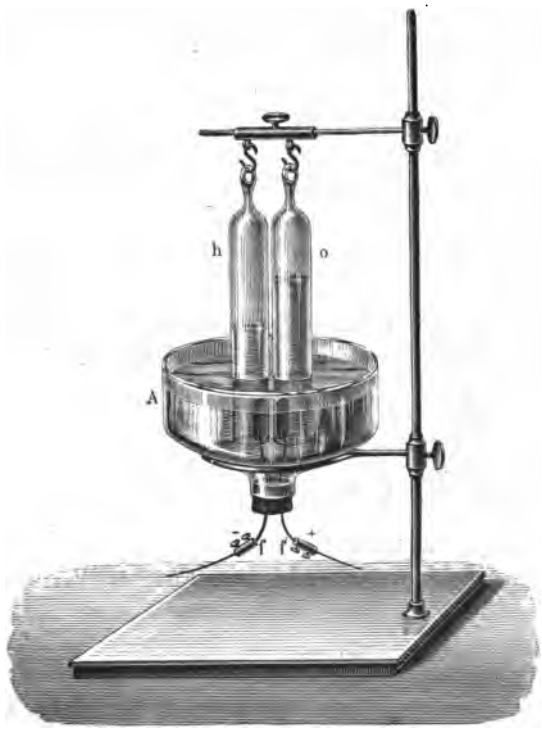
III. **Uebung 1.** Aichung der Tangentenbussole. Um mit der Tangentenbussole absolute Messungen anzustellen, muss man die Constante K bestimmen; sie hängt ab von der Grösse der horizontalen Componente des Erdmagnetismus und dem Radius des Kreises. Giebt ein Strom von bekannter Intensität i_0, gemessen in Ampère, einen Ausschlag α_0, so ist:

$$i_0 = K tg\, \alpha_0$$

$$K = i_0 / tg\, \alpha_0$$

und erhält damit K: den Reductionsfactor der Tangentenbussole auf Ampère.

Fig. 249.



Man schaltet in denselben Stromkreis ein Wasserstoffvoltameter von kleinem Widerstand, Fig. 249, bestehend aus zwei Platinplatten, die in verdünnte Schwefelsäure tauchen und über die zwei Messcylinder *h* und *o* gehängt sind, eine Tangentenbussole und einen Rheostaten, um den Strom passend zu reguliren. Die genauesten Messungen erhält man, wenn etwa $\alpha = 45^0$ ist.

1) Man schliesst den Strom und lässt die Knallgasentwickelung einige Zeit gehen, ohne das Gas aufzufangen, damit das Wasser im Voltameter sich mit demselben sättigt.

2) Man schiebt den Messcylinder mit einer vollen Minute über die negative Elektrode und liest gleichzeitig die Zeit an der Uhr ab: ε.

3) Man liest die Ausschläge der Nadel von Minute zu Minute ab, sie seien $\alpha_0\,\alpha_1\,\alpha_2\,\alpha_3\,\ldots\,\alpha_n$. Der mittlere Ausschlag in den einzelnen Minuten ist:

$$\frac{\alpha_0+\alpha_1}{2},\quad \frac{\alpha_1+\alpha_2}{2}\ldots$$

4) Nachdem der Messcylinder hinlänglich weit gefüllt ist, unterbricht man den Strom. Dies geschehe nach n Minuten.

5) Man liest das Volumen v des Gases im Messcylinder, die Temperatur t, die Höhe der Wassersäule h' und den Barometerstand b ab.

6) Man reducirt nach S. 86 das beobachtete Volumen v auf dasjenige v_0 bei 0^0 und 760 mm. Ist e die Spannkraft des Wasserdampfes bei der betreffenden Temperatur und $h = h'/13{,}6$ die auf Quecksilber reducirte Höhe der Wassersäule im Messcylinder, so ist:

$$v_0 = \frac{v\,.\,(b-h-e)}{760\,(1+\alpha t)}\,.$$

Dieses Volumen ist in n Minuten abgeschieden. in einer Minute ist also v_0/n abgeschieden worden, und zwar bei einem mittleren Ausschlag der Tangentenbussole [1]) von

$$\frac{1}{n}\left(\frac{\alpha_0+\alpha_1}{2}+\frac{\alpha_1+\alpha_2}{2}+\cdot+\frac{\alpha_{n-1}+\alpha_n}{2}\right)=\frac{1}{n}\left(\frac{\alpha_0}{2}+\alpha_1+\cdot+\alpha_{n-1}+\frac{\alpha_n}{2}\right).$$

Nun scheidet ein Strom von 1 Ampère in einer Minute 6,96 cbcm Wasserstoff aus; die Stromstärke i, welche v_0/n cbcm abscheidet, ist also $i = \frac{v_0}{6{,}96\,n}$ Ampère.

Es ist also:

$$\frac{v_0}{6{,}96\,n}\text{ Amp.} = K tg\,\frac{1}{n}\left(\frac{\alpha_0}{2}+\alpha_1+\cdots+\alpha_{n-1}+\frac{\alpha_n}{2}\right),$$

woraus durch Division K ohne Weiteres folgt.

Hat sich der Ausschlag α_0 von Anfang bis zum Ende des Versuches nicht geändert, so ist:

$$\frac{v_0}{6{,}96\,n} = K tg\,\alpha_0.$$

Multiplicirt man mit dem so berechneten K die Tangente des Ablenkungswinkels, so erhält man die Stromstärke in Ampères ausgedrückt.

Bemerkung. Statt aus der Menge abgeschiedenen Wasserstoffgases die Stromstärke in Ampères zu bestimmen, kann man auch die durch den Strom abgeschiedene Menge irgend eines Metalles, Silber, Kupfer verwenden, und durch Division mit dem Aequivalentgewicht (nicht Atomgewicht) die Menge des abgeschiedenen Wasserstoffs (vergl. Seite 415, Faraday'-sches Gesetz) berechnen.

---

[1]) Es gilt diese einfachste Gleichung nur bei kleinen Aenderungen der Stromstärke.

2. Spiegelgalvanometer zur genauen Messung von Strömen.

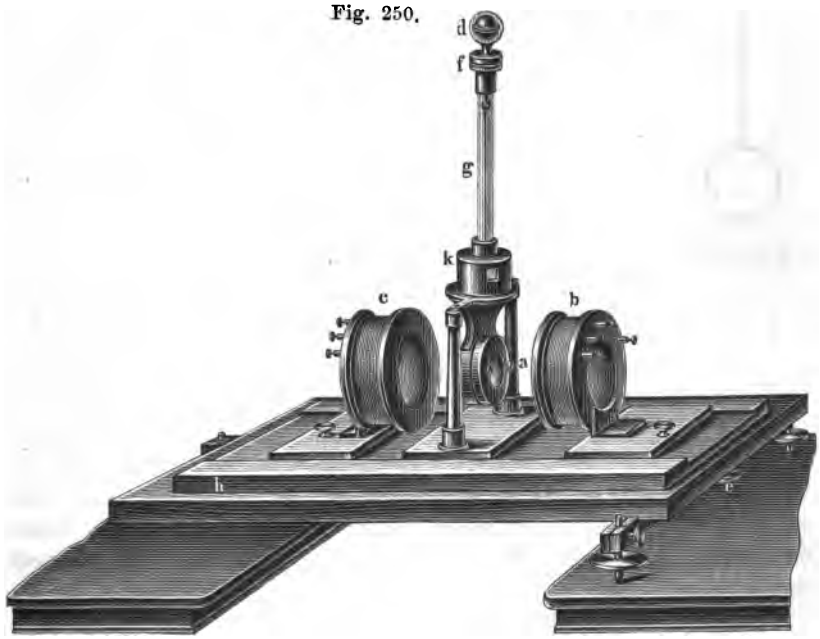
Gebraucht wird: Spiegelgalvanometer; Fernrohr mit Scala; Stativ; Voltameter; galvanische Batterie; Astasirungsmagnet.

A. Beschreibung und Einstellung des Spiegelgalvanometers.

Statt der Tangentenbussole in der oben beschriebenen Form verwendet man in den meisten Fällen das Wiedemann'sche Spiegelgalvanometer, das eine besondere Form der Tangentenbussole darstellt.

I. Princip. Auch bei diesem wird durch den Strom eine Magnetnadel abgelenkt. Man macht dieselbe sehr kurz und lässt sie in einer Hülle von Kupfer schweben. Schwingt der Magnet, so werden durch die in dem Kupfer inducirten Ströme die Schwingungen beruhigt, gedämpft.

Fig. 250.



II. Apparat. a) Spiegelgalvanometer nach G. Wiedemann.

Auf einem mit drei Stellschrauben versehenen Brett *h*, Fig. 250, dreht sich auf einem Zapfen von Rothguss ein zweites Brett, auf dem sich zwischen zwei Leisten Holzbretter verschieben lassen. Das mittelste dieser Bretter trägt eine dicke cylindrische Hülse von Kupfer von 20 mm

Länge und 40 mm Durchmesser[1]). Sie ist von oben von einem 2 mm weiten Loch durchsetzt und dreht sich auf einem kupfernen Zapfen oder hängt an einem Messinggestell (siehe die Figur). Die zu beiden Seiten dieser Hülse aufgestellten Messingständer tragen oben ein Querstück von Messing, aus welchem gerade über der Hülse *a* ein 5 mm breiter und 20 mm langer Schlitz parallel zur vorderen Fläche der Kupferhülse ausgeschnitten ist. Das Querstück trägt ausserdem über der Kupferhülse auf einem Messingbügel (Fig. 251) einen horizontalen Messingring, in welchen sich eine messingene Fassung einschrauben lässt, die eine etwa 12 cm lange Glasröhre trägt. Auf die Glasröhre ist eine Messingfassung aufgekittet, in die eine Röhre eingeschliffen ist, welche sich in der Fassung drehen lässt. Eine an der Röhre angebrachte Marke, sowie einige Theilstriche auf dem oberen Rande der Fassung gestatten, die Röhre um 45°, 90° u. s. f. zu drehen. Die Röhre ist oben mit einer Einrichtung zur Hebung und Senkung eines Hakens versehen, der einen Coconfaden trägt. Innerhalb der Kupferhülse *a* hängt der Magnet *N*, ein etwa 1 mm dicker, am äusseren Rande zugeschärfter Ring von 19 mm Durchmesser, der in horizontaler Richtung magnetisirt ist; in denselben ist oben ein Messingdraht eingeschraubt, an dem oben der Spiegel *S* befestigt ist, der innerhalb der mit passenden Ausschnitten mit Fenstern versehenen Hülse *k* schwebt.

Fig. 251.

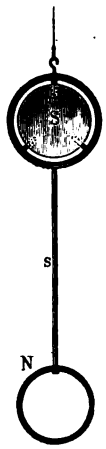


Fig. 252.

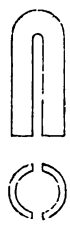
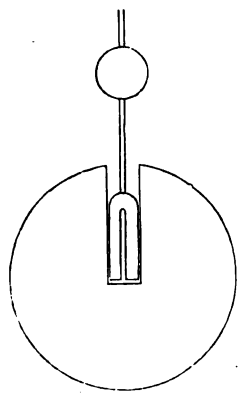


Fig. 253.



Die beiden anderen Schieber tragen Drahtspiralen *b*, *c*, deren Axen mit der Axe der Kupferhülse zusammenfallen. Die Spiralen haben einen so grossen inneren Durchmesser, dass sie gerade auf die Hülse *a* hinaufpassen, und lassen sich so nahe an einander schieben, dass zwischen ihnen nur ein schmaler Zwischenraum bleibt. Sie werden durch die an den Enden der Drähte angebrachten Klemmschrauben mit der übrigen Stromleitung in Verbindung gebracht.

b) Spiegelgalvanometer mit Glockenmagnet von Siemens.

Statt des magnetisirten Stahlringes innerhalb des Kupfercylinders verwendet man der vorzüglichen Dämpfung wegen vielfach den

[1]) Bei den nach Sauerwald in Berlin construirten Apparaten ist die Kupferhülse senkrecht gegen ihre Axe in zwei Hälften zerschnitten, deren eine auf dem Schieber befestigt ist. Die andere Hälfte wird durch zwei Messingschrauben gegen die erstere gegengeschraubt. Das Einhängen des den Magnetspiegel tragenden Coconfadens ist dadurch erleichtert.

Siemens'schen Glockenmagneten. Derselbe besteht aus einem an zwei gegenüberliegenden Seiten der Länge nach aufgeschlitzten Stahlrohr, dessen Seiten- und Unteransicht Fig. 252 giebt, das in einer Kupferkugel schwebt (Fig. 253). Das Rohr ist so magnetisirt, dass die unteren Hälften desselben entgegengesetzte Polaritäten haben.

III. **Uebung.** Einstellung des Galvanometers.

1) Man stellt Fernrohr und Scala in der S. 137 beschriebenen Weise auf.

2) Man überzeugt sich, dass der Magnet frei schwebt. Dazu beobachtet man die Lage desselben mit Fernrohr und Scala, lenkt ihn durch einen Strom oder einen angenäherten Magnetstab ab, entfernt die ablenkende Ursache und beobachtet an dem Fadenkreuz, ob der Spiegel wieder in seine frühere Lage zurückkehrt, was man an der Lage der Scala im Fernrohr erkennt. Ist das nicht der Fall, so dreht man an den Stellschrauben, welche das Grundbrett des Galvanometers tragen, resp. hebt und senkt den Magneten an der Schraube *d*, bis der Magnet frei schwebt.

3) Man stellt die Ebene der Spiralen in den Meridian. Dazu stellt man a) zunächst die Ebene der Spiralen mittelst einer Magnetnadel ungefähr in denselben; b) verbindet die Klemmschrauben an den Spiralen *b* und *c* durch einen Commutator, dessen Widerstand in beiden Lagen gleich ist, mit den Polen eines constanten Elementes und beobachtet die Ausschläge nach rechts und links beim Umschlagen des Commutators. Sind dieselben gleich, so stehen die Spiralen richtig. Ist der Ausschlag auf der einen Seite grösser als auf der anderen, so dreht man den Apparat etwas und stellt denselben Versuch an; so fährt man fort, bis Gleichheit erzielt ist.

B. Astasirung des Galvanometers.

I. Princip. Die Empfindlichkeit des Galvanometers hängt bei constanter Lage der Spiralen von der richtenden Kraft des Erdmagnetismus ab. Man kann die Empfindlichkeit des Galvanometers dadurch erhöhen, dass man die letztere abschwächt, man astasirt das Galvanometer. Dazu legt man unter das Galvanometer einen Magnetstab, den Astasirungsmagneten, in die Verticalebene, die durch die Pole des Galvanometermagneten geht, so dass sein Nordpol nach Norden, sein Südpol nach Süden liegt.

Uebung. 1) Man nähert dem einen Pol des Galvanometerspiegels den einen Pol des Magneten und untersucht, welcher ihn anzieht.

2) Man legt den Magnetstab auf ein unter dem Galvanometer angebrachtes, hoch und nieder zu stellendes Tischchen, so dass jeweilig unter den Polen des Galvanometerspiegels die gleichnamigen Pole des Magnetstabes liegen.

3) Man leitet mittelst eines Commutators einen etwa ebenso starken Strom durch die Spiralen, wie man ihn untersuchen will, und hebt den

Astasirungsmagneten so hoch, bis das Galvanometer einen passenden Ausschlag zeigt. Dann commutirt man die Richtung des Stromes im Galvanometer und dreht den astasirenden Magneten so lange, bis die Ausschläge auf beiden Seiten gleich gross sind.

Bemerkung. Oft ist der Astasirungsmagnet an einer Hülse befestigt, die sich längs der Glasröhre verschiebt, in welcher der Coconfaden hängt.

C. Aichung des Galvanometers.

Will man mit dem Galvanometer die Stromstärke messen, so muss man dasselbe aichen. Man verfährt in derselben Weise, wie bei der Aichung der Tangentenbussole (vergl. S. 403).

D. Reduction der Scalenablesung auf den Bogen.

Die Stromintensitäten sind proportional $tg\,\alpha$, wenn α den Ablenkungswinkel des Spiegels bedeutet. Wir müssen aus den Verschiebungen des Bildes der Scala im Fernrohr die Werthe von $tg\,\alpha$ berechnen.

Das Fernrohr wird so eingestellt, dass bei nicht abgelenktem Magneten der über der Mitte des ersteren befindliche Scalentheil z_0 mit seinem Fadenkreuz zusammenfällt. Geht ein Strom durch das Galvanometer und erscheint der Theilstrich z_1 am Fadenkreuz, so beträgt die Ablenkung $z_1 - z_0$ Scalentheile.

Ist die Entfernung der Scala von dem Spiegel y, so ist nach S. 23 der Winkel α, um den sich der Spiegel gedreht hat, durch die Gleichung bestimmt:

$$tg\,2\alpha = \frac{z_1 - z_0}{y}.$$

Bei kleinen Ablenkungen kann man die Stromstärke direct dieser Ablenkung proportional setzen, da sie der Tangente des Ablenkungswinkels, die die Stromstärke misst, proportional ist.

Es ist dann $tg\,2\alpha = 2\,tg\,\alpha$, also angenähert:

$$tg\,\alpha = \frac{z_1 - z_0}{2\,y},$$

d. h. $tg\,\alpha$, also auch die Stromstärke ist proportional $z_1 - z_0$, d. h. der Verschiebung der Scala im Fernrohr.

Für genauere Bestimmungen muss man aber zunächst aus dem Werthe von $tg\,2\alpha$ den Winkel α berechnen und daraus dann $tg\,\alpha$ (vergl. S. 25).

VII. Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom; das Joule'sche Gesetz.

Gebraucht wird: Calorimeter mit Ebonitdeckel und Platindrahtspirale; Thermometer; empfindliches Galvanometer; Fernrohr mit Scala; Widerstandskasten; Wheatstone'sche Brücke mit einem zweiten Spiegelgalvanometer, Fernrohr und Scala; Waage mit Gewichten; Terpentinöl; kleines Calorimeter zur Bestimmung des Wasserwerthes des Thermometers; Hülfswiderstand im Oelbad; Stromschlüssel; Wassermantel für das Calorimeter; Knallgas-, Silber- oder Kupfervoltameter; wasserfreier Alkohol; Kette von drei Bunsenelementen; Verbindungsdrähte.

Einleitung. Fliesst ein galvanischer Strom durch einen Leiter, so wird derselbe erwärmt. Die im Leiter auftretende Wärmemenge entspricht der von den elektrischen Kräften bei der Bewegung der Elektricität geleisteten Arbeit.

Beträgt der Spannungsunterschied, die Potentialdifferenz, an den beiden Enden eines drahtförmigen Stückes des Leiterkreises E Volts, und ist die Stromstärke J Ampères, so ist die von den elektrischen Kräften in der Zeiteinheit in diesem Leiterstück geleistete Arbeit gleich $A = EJ$ Volt-Ampères.

Wählt man als Zeiteinheit die Secunde, so erhält man die geleistete Arbeit in Grammcalorien ausgedrückt, wenn man die Volt-Ampères mit dem Factor 0,24 multiplicirt; die von den elektrischen Kräften in der Secunde geleistete Arbeit ist also gleich

$$A = 0{,}24\ EJg \text{ cal.}$$

Nach dem Ohm'schen Gesetz ist $E = JW$, also ist die Arbeit

$$A = 0{,}24\ J^2 Wg \text{ cal.}$$

Während einer Zeit von Z Secunden wird die Arbeit ZA geleistet.

Man erhält den zuerst von Joule ausgesprochenen Satz: Fliesst ein Strom von der Intensität J durch ein Leiterstück von dem Widerstande W, so ist die vom Strome während Z Secunden erzeugte Wärmemenge

$$Q = jJ^2 W \times Zg \text{ cal.},$$

wo der Factor j den Werth 0,24 hat, wenn wir die Stromstärke in Ampères, den Widerstand in Ohms und die Zeit in Secunden messen.

1. Prüfung des Gesetzes.

I. Princip. Man leitet den Strom einer möglichst constanten Kette durch eine Spirale von dünnem Platindraht, welche in eine in einem Calorimeter befindliche nicht leitende Flüssigkeit taucht, und bestimmt die erzeugte Wärmemenge. Ermittelt man gleichzeitig mit einem auf Ampères geaichten Galvanometer die Stromstärke während der Dauer Z des Versuches, und kennt man den Widerstand W des Drahtes in Ohm, so kann man die erzeugte Wärmemenge mit der aus diesen Daten berechneten vergleichen und dadurch das Gesetz prüfen.

Da man nicht zu schwache Ströme verwenden darf, das Galvanometer dabei aber hinreichend empfindlich sein soll, so muss man es in den Nebenschluss bringen (vergl. S. 374). Ist w_g der Widerstand der Drahtspiralen des Galvanometers nebst den Zuleitungen, w_r der Rheostatenwiderstand in dem Nebenschluss zum Galvanometer, i die am Galvanometer abgelesene Stromstärke, so ist die Stromstärke im unverzweigten Schliessungskreise

$$J = i \frac{w_r + w_g}{w_r}.$$

II. Apparat. Das Calorimeter besteht aus einem 6 cm hohen Messinggefäss von 4 cm Durchmesser. Der Ebonitdeckel desselben trägt zwei Kupferstäbe, an die unten die Enden einer Spirale aus einem circa 0,1 mm dicken Platindraht festgeklemmt sind; die Stäbe tragen oben Klemmschrauben. In der Mitte hat der Deckel eine weitere Durchbohrung für das Thermometer, an der Seite eine engere, in der sich ein Messingrührer bewegt.

Zu den Widerstandsbestimmungen wird die S. 385 beschriebene vollkommenere Form der Wheatstone'schen Brücke und das Spiegelgalvanometer verwendet.

III. Uebung. 1. Bestimmung der Widerstände. Nach den S. 381 gegebenen Vorschriften werden die Widerstände bestimmt:

1) des Platindrahtes W, wobei man die Zuleitungsdrähte zur Wheatstone'schen Brücke in den Klemmschrauben auf dem Ebonitdeckel des Calorimeters befestigt.

2) des Galvanometers w_g, indem man dieses in den betreffenden Zweig der Wheatstone'schen Drahtcombination einschaltet; das zweite in der Brücke eingeschaltete, zur Widerstandsmessung verwendete Galvanometer darf dem ersten nicht zu nahe stehen.

2. Bestimmung des Wasserwerthes des Calorimeters und Füllung desselben.

1) Man wägt das Messinggefäss mit dem Messingrührer, Gewicht p; dann ist der Wasserwerth des Calorimeters $q = p\sigma$, wo σ die specifische Wärme des Messings ist.

(Da Ebonit ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, so kann man, wenn nicht eine sehr grosse Genauigkeit angestrebt wird, den Wärmeverlust durch Ableitung nach den Kupferstäben bei diesen Versuchen vernachlässigen; man braucht den Wasserwerth des Deckels und der Kupferstäbe also nicht zu kennen.)

2) Man wägt das Calorimeter allein, Gewicht p', füllt es so weit mit reinem Terpentinöl, dass der Platindraht gerade eintaucht, aber die Kupferzuleitungen von der Flüssigkeit noch nicht berührt werden, und wägt wieder; Gewicht P'. Dann ist $P = P' - p'$ das Gewicht des Terpentinöles.

3) Man bestimmt nach S. 184 den Wasserwerth τ des Thermometers.

4) Man setzt das Calorimeter mit dem Thermometer in einen der S. 184 beschriebenen Wassermäntel.

3. Die Bestimmung der Stromstärke und Gewinnung.

1) Man stellt das Galvanometer und das Fernrohr mit der Scala auf, und liest die Nulllage s_0 des Galvanometerspiegels ab.

2) Man bildet einen Stromkreis aus zwei bis drei Bunsenelementen, dem Calorimeter, einem Stromschlüssel und einer einfachen, nach dem Schema der Fig. 231, S. 374 angelegten Verzweigung, in deren einen Zweig, etwa in $w_2 i_2$, man das Galvanometer, in deren anderen Zweig, etwa in $w_1 i_1$, man einen bekannten, in ein Oelbad tauchenden Widerstand einschaltet.

3) Man liest die Temperatur im Calorimeter während einiger Minuten (Vorperiode) von Minute zu Minute ab, schliesst bei einer vollen Minute den Strom, schaltet so viel Widerstand ein, dass ein passender, nicht zu grosser Ausschlag entsteht und liest diesen ebenso wie die Temperaturen von Minute zu Minute ab. Die Temperaturen seien $t_0 t_1, t_2$, die Galvanometerausschläge s_1, s_2.

4) Nachdem das Thermometer einige Grade gestiegen ist, liest man die Temperatur am Ende der $n$ten Minute t_n und den Galvanometerausschlag s_n ab und öffnet den Strom.

5) Man liest weiter während 5 bis 10 Minuten die Temperatur von Minute zu Minute ab: $t_{n+1}, t_{n+2}, \ldots$ (Nachperiode).

Dann ist $t_n + \Delta - t_0$ die im Calorimeter erzeugte Temperaturerhöhung, wo Δ die nach S. 186 aus den Temperaturen der Vor- und Nachperiode berechnete Correction der Endtemperatur, t_a die Temperatur beim Stromschluss bezeichnet.

4. Aichung des Galvanometers.

1) Man schaltet in denselben Schliessungskreis das Galvanometer, einen Rheostaten, einen Stromschlüssel und ein Wasserstoff-, Silber- oder Kupfervoltameter.

2) Man schaltet so viel Widerstand aus oder ein, dass ein dem vorigen Ausschlage möglichst gleich grosser entsteht, und bestimmt in der

auf S. 410 angegebenen Weise den Reductionsfactor K des Galvanometers.

IV. Berechnung. a) Man berechnet für die während der einzelnen Minuten beobachteten Ausschläge $\alpha_1 = s_1 - s_0$, $\alpha_2 = s_2 - s_0$, . . . $\alpha_n = s_n - s_0$, nach der Formel $i = K tg \alpha$ die Stromstärken. Aus den beobachteten Stromstärken in dem in den Nebenschluss gebrachten Galvanometer berechnet man die Intensität J des Hauptstromes während der einzelnen Minuten nach der Formel $J = i \frac{w_g + w_r}{w_r}$, quadrirt alle so erhaltenen Werthe, addirt sie und dividirt die Summe durch n. Die so erhaltene Zahl J_m^2 ist der Mittelwerth des Quadrates der Stromstärke während der Dauer des Versuches.

Unter 1) wurde der Widerstand des Drahtes zu W Ohm bestimmt. Der Versuch dauerte n Minuten, also ist $Z = 60\,n$ Secunden. Hieraus ergiebt sich nach dem Joule'schen Gesetz die an das Calorimeter abgegebene Wärmemenge

$$Q_a = 0{,}24\, J_m^2\, W \times Z.$$

b) Ist c die specifische Wärme des Terpentinöles, so ist die vom Calorimeter aufgenommene Wärmemenge

$$Q_b = (q + \tau + c\,P)\,(t_n + \Delta - t_0).$$

Man findet, dass sehr nahe $Q_b = Q_a$ ist.

2. Bestimmung der specifischen Wärme von Flüssigkeiten mit Hülfe des Joule'schen Gesetzes.

Princip und Uebung. 1) Man füllt das Calorimeter mit Pg Terpentinöl, beobachtet die Anfangstemperatur t_0, leitet einen Strom eine Zeit lang hindurch und liest von Minute zu Minute die Galvanometerausschläge und die Temperaturen ab, letztere auch noch einige Minuten vor und nach der Schliessung bezw. Unterbrechung des Stromes.

2) Man berechnet wie unter IVa das mittlere Quadrat der Stromstärke und daraus die erzeugte Wärmemenge.

3) Man corrigirt die Endtemperatur des Calorimeters, wie S. 186 angegeben ist.

Dann ist

$$0{,}24\, J_m^2\, WZ = (q + \tau + c\,P)\,(t_n - t_0 + \Delta),$$

woraus man c berechnen kann.

Die Uebung wird in gleicher Weise noch mit wasserfreiem Alkohol angestellt.

VIII. Elektrolyse.

1. Faraday'sches Gesetz.

Gebraucht wird: Die Knallgasvoltameter Fig. 254 und Fig. 255; das Silber- bezw. Kupfervoltameter Fig. 256; Flasche mit reiner verdünnter Schwefelsäure (1 : 10); Silbernitratlösung in schwarzer Flasche, Kupfervitriollösung; kleine Bussole; feine Waage mit Gewichten; Batterie von zwei bis drei Bunsenelementen; Verbindungsdrähte.

I. Einleitung. Schon oben wurden die Leiter eingetheilt in Leiter erster Classe und Leiter zweiter Classe: Elektrolyte. Leitet man durch die letzteren einen Strom, so werden sie zersetzt, elektrolysirt; die durch den Strom direct abgeschiedenen Bestandtheile heissen Ionen; an der mit dem negativen Pol verbundenen Elektrode, der Kathode, scheidet sich ab das Kation, der elektropositive Bestandtheil des Elektrolyten, an der positiven das Anion, der elektronegative Bestandtheil des Elektrolyten.

Die Ionen selbst sind nur in den seltensten Fällen zu beobachten, sie erfahren meist secundäre Veränderungen etc. (vergl. weiter unten bei primären und secundären Processen).

Für die elektrolytischen Processe hat Faraday die folgenden Gesetze aufgestellt:

1. Die durch verschieden starke Ströme aus demselben Elektrolyten abgeschiedenen Mengen desselben Ions verhalten sich wie die Stromstärken. Auf diesem Satze beruht die Messung der Stromstärken auf elektrochemischem Wege (vergl. o. S. 405); die dazu verwendeten Instrumente heissen Voltameter.

2. Fliesst derselbe galvanische Strom hinter einander durch eine Reihe von Elektrolyten, so werden äquivalente Mengen derselben zersezt; die Quantitäten der aus ihnen an beiden Elektroden abgeschiedenen Stoffe stehen gleichfalls im Verhältniss ihrer Aequivalentgewichte.

Hier kommen die Aequivalentgewichte in Betracht, also die Mengen, welche sich mit 1 Atom eines univalenten Elementes, etwa Cl oder H verbinden, und nicht die Atomgewichte.

II. Apparate. 1. Das Knallgasvoltameter. Die Elektroden *aa* (Fig. 254, a. f. S.) von Platinblech sind an Platindrähte angenietet, welche

in die Wände eines unten geschlossenen Glascylinders eingeschmolzen und mit Klemmschrauben *b b* verbunden sind. Der Cylinder wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt. In den erweiterten Hals desselben ist das Glasrohr *e* eingeschliffen. Zur Dichtung kann auf den Schliff noch etwas Quecksilber gegossen werden. Zur Abkühlung wird der Cylinder in ein grösseres, mit einer die Elektricität schlecht leitenden Flüssigkeit (etwa Weingeist) gefülltes Glas *c c* gesetzt. Das Ende *f* des Rohres *e* mündet in Wasser unter einem mit Wasser gefüllten Messcylinder.

Fig. 254.

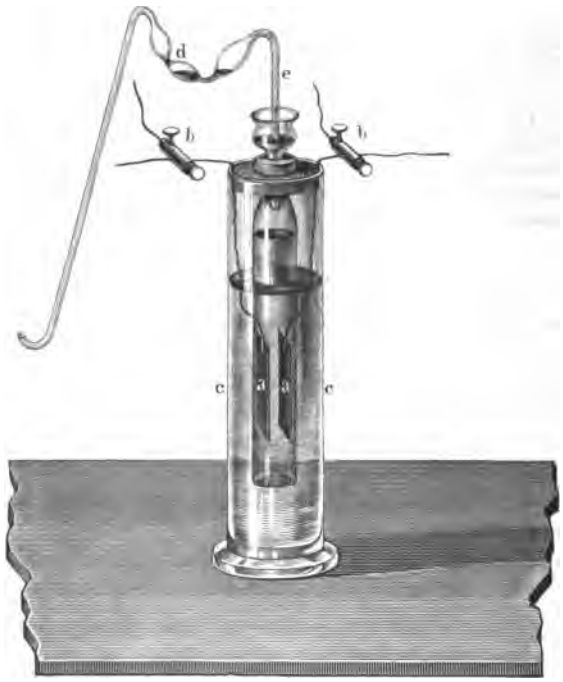
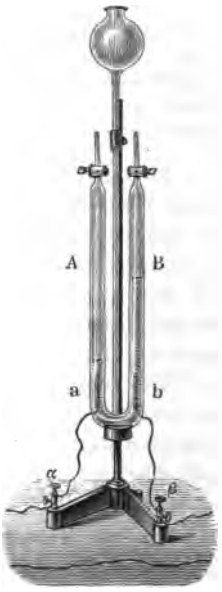


Fig. 255.



2. Das Voltameter zum getrennten Auffangen von Wasserstoff und Sauerstoff (Fig. 255). Die beiden Platinbleche *a* und *b* sind von unten in die verticalen, getheilten Schenkel *A* und *B* eines U-Rohres eingeschmolzen, oben sind die Schenkel durch Hähne verschlossen. Der Fuss, an dem die Klemmschrauben α und β für die Zuleitungsdrähte befestigt sind, muss aus einem nichtleitenden Material bestehen, eine andere Form ist abgebildet Fig. 249.

3. Das Kupfer- und Silbervoltameter (Fig. 256). Auf einer mit einer Klemmschraube *b* verbundenen Metallplatte steht eine Platinschale *A*. Der mit einer kleinen Klemmschraube *c* versehene Messingbügel *M* trägt oben bei *B* eine Metallhülse mit einer seitlichen Schraube, in der

sich ein Messingstab auf- und niederschieben lässt, welcher unten eine Kupferhalbkugel oder ein Silberstück trägt, das mit etwas Filtrirpapier umwunden ist. Man füllt die Schale mit Kupfervitriol- resp. Silbernitratlösung.

Bei allen im Folgenden anzustellenden Uebungen wird in den Kreis des von zwei bis drei Bunsenelementen gelieferten Stromes ein Unterbrecher (vergl. Fig. 217, S. 364) eingeschaltet und dieser nur während der Dauer des Versuches geschlossen.

III. **Uebung 1.** Vergleichung der abgeschiedenen Sauerstoff- und Wasserstoffmengen. Man füllt das Voltameter (Fig. 255 resp. 249) mit verdünnter Schwefelsäure (1 Schwefelsäure zu 10 Wasser) und leitet den Strom hindurch; die abgeschiedenen Sauerstoff- und Wasserstoffvolumina verhalten sich annähernd wie 1 : 2.

Fig. 256.

Nach dem Avogadro'schen Gesetze sind in gleichen Volumen gleich viel Molecüle vorhanden, auf 1 Mol. Wasserstoff ist also nur $^1/_2$ Mol. Sauerstoff oder 1 Aeq. Sauerstoff abgeschieden.

Uebung 2. Vergleichung der abgeschiedenen Silber- und Wasserstoffmengen.

1) Man verbindet die Polklemmen, in welche der Strom der ausserhalb des Zimmers stehenden Batterie fliesst, unter Einschaltung des Unterbrechers (Fig. 217) durch einen Draht, von dem man einen Theil über eine kleine Bussole parallel der Nadel legt.

2) Man schliesst den Strom, beobachtet den Ausschlag der Nadel und bestimmt die Richtung des Stromes nach der Ampère'schen Regel (vergl. S. 376). Man controlirt die Bestimmung, indem man den Draht unter die Nadel legt.

Die Klemme, von welcher der positive Strom kommt, bezeichnet man etwa durch Ankleben eines Stückchens Papier.

3) Man schaltet das Voltameter (Fig. 254) allein ein, lässt das Gas entweichen, ohne es aufzufangen, und erreicht dadurch, dass sich die verdünnte Schwefelsäure vollkommen mit dem Gase sättigt.

4) Man bildet einen Stromkreis, in dem der Unterbrecher, das Wasserstoffvoltameter und das Silbervoltameter hinter einander eingeschaltet sind, letzteres so, dass der Strom an der Platinschale austritt, diese also die Kathode ist.

5) Man wägt die Platinschale leer, das Gewicht sei P, und schiebt den Messcylinder über die negative Elektrode des Wasserstoffvoltameters.

6) Man schliesst den Strom, lässt ihn einige Zeit durch beide Voltameter gehen und unterbricht.

7) Man liest das Volumen V des entwickelten Wasserstoffes ab und giesst die Silbernitratlösung aus, spült die Platinschale mit Wasser, Alkohol und Aether nach, trocknet und wägt. Gewicht P_1.

Berechnung. Man reducirt das Volumen V nach S. 86 auf dasjenige V_0 bei 0^0 und 760 mm. 1 cbcm Wasserstoff wiegt bei 0^0 und 760 mm 0,00008958 g. Die abgeschiedene Menge Silber ist $P_1 - P$; das Verhältniss beider muss gleich dem Verhältniss der Aequivalentgewichte sein 1 : 107,66.

Uebung 3. Vergleichung der abgeschiedenen Kupfer- und Wasserstoffmengen.

Man verfährt genau wie bei Uebung 2, nur ersetzt man das Silberstück im Voltameter durch die Kupferhalbkugel.

Die Berechnung ist dieselbe wie bei 2. Das Verhältniss der abgeschiedenen Mengen H : Cu ist 1 : 31,6 gleich dem der Aequivalentgewichte und nicht gleich dem der Atomgewichte 1 : 63,2.

2. Elektrolytische Bestimmung des Kupfers im Kupfersulfat.

Gebraucht wird: Ring für die Platinschale am Kupfervoltameter; Platinblechscheibe; durchbohrtes Uhrglas; Bunsenbrenner; Kupfersulfat; Spritzflasche; Lösung von oxalsaurem Ammonium (kalt gesättigt); Reagensglas; Glasstab; Ferrocyankaliumlösung.

I. Princip. Man elektrolysirt eine Lösung von Kupfersulfat, die eine abgewogene Menge P des zu untersuchenden Sulfates enthält, in dem Kupfervoltameter und bestimmt die in der als negative Elektrode gewählten Platinschale abgeschiedene Kupfermenge p durch Wägung.

II. Apparat. An dem oben benutzten Kupfervoltameter wird ein Drahtring D (Fig. 257) befestigt, auf den die Platinschale M gesetzt werden kann; der Träger dieses Ringes steht mit der einen Klemme b des Voltameters in leitender Verbindung. Auf die Schale wird ein in der Mitte durchbohrtes Uhrglas U gelegt; durch die Durchbohrung wird ein Platindraht gesteckt, der unten eine in die Schale tauchende Platinplatte N trägt; oben wird dieser Platindraht an dem Träger befestigt, der bei dem Kupfervoltameter die Kupferhalbkugel trägt.

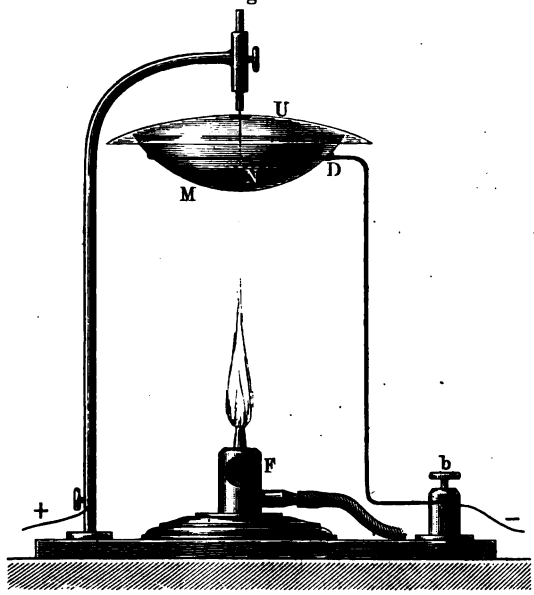
III. **Uebung.** 1) Die Platinschale wird mit Wasser und Methylalkohol ausgewaschen und sorgfältig getrocknet.

2) Die leere Schale wird gewogen; Gewicht gleich P_1 g.

3) Ein völlig reiner und trockener Kupfersulfatkrystall von ca. 0,1 g Gewicht wird mit der Schale gewogen; Gewicht P_2, also Gewicht des Krystalls $P = P_2 - P_1$.

4) Man schüttet in die Schale ein wenig (aber beliebig viel) destillirtes Wasser und dann so viel von einer kalt gesättigten Lösung von oxalsaurem Ammonium, dass die Schale etwa bis auf $^1/_2$ cm vom Rande gefüllt ist.

Fig. 257.



5) Die Schale wird auf den Ring aufgesetzt und mit dem Uhrglase bedeckt, nachdem das Platinblech eingesenkt ist; durch eine kleine Gasflamme F wird die Salzlösung auf ca. 70 bis 80° gehalten.

6) Man elektrolysirt so lange, bis ein mittelst eines spitzen Glasstabes herausgenommener Tropfen der Flüssigkeit in einem Tropfen Ferrocyankalium auf einer Porcellanplatte keine Bräunung mehr zeigt.

7) Die Schale wird wiederholt mit destillirtem Wasser, dann mit Methylalkohol ausgespült und sorgfältig getrocknet.

8) Man wägt die Platinschale wieder; Gewicht P_3 g. Also ist die abgeschiedene Kupfermenge $p = P_3 - P_1$.

Beispiel: $P_1 = 14{,}874$, $P_2 = 14{,}998$, $P = 0{,}124$, $P_3 = 14{,}906$; $p = 0{,}032$; 1 g Kupfer würde also in 3,87 g Kupfersulfat enthalten sein. Da $CuSO_4 + 5\,H_2O = 249$, $Cu = 63$ ist, so ist der theoretische Werth dieser Menge 3,95 g.

3. Primäre und secundäre Processe. Verschiedene Elektrolysen.

Gebraucht wird: Drei Zersetzungszellen von der Form Fig. 258; Jodkaliumlösung; Stärkekleister; verdünnte Schwefelsäure; Natriumsulfatlösung; rothe und blaue Lackmuslösung; Kaliumacetatlösung; Flasche (Fig. 259).

Becherglas mit zwei mit Klemmschrauben versehenen Bleiplatten; Batterie von drei Bunsenelementen; Verbindungsdrähte.

I. Einleitung. Man kann entweder die Elektrolyte in geschmolzenem oder in gelöstem Zustande elektrolysiren; in festem Zu-

stande leiten nur wenige so gut, dass merkliche Zersetzungen beobachtet werden können.

Die theoretisch einfachsten Elektrolysen sind diejenigen von geschmolzenen Salzen. Könnten wir dieselben unter solchen Bedingungen vornehmen, dass die sich abscheidenden Ionen im freien Zustande verblieben, so wären die an den Elektroden auftretenden Producte auch diejenigen, welche der Strom aus der Verbindung abgeschieden hat; wir würden dann den primären Process beobachten. Dieser primäre Process ist bei den geschmolzenen und den gelösten Elektrolyten der gleiche. Die bei denselben entstehenden Producte treten aber in den allerseltensten Fällen wirklich auf, die Ionen treten zu Molecülen zusammen, weiter spielen sich zwischen den abgeschiedenen Ionen und dem Lösungsmittel oder dem gelösten Salz, ferner zwischen ihnen und den Elektroden chemische Processe ab, die secundären Processe, und wir beobachten erst die Producte dieser letzteren.

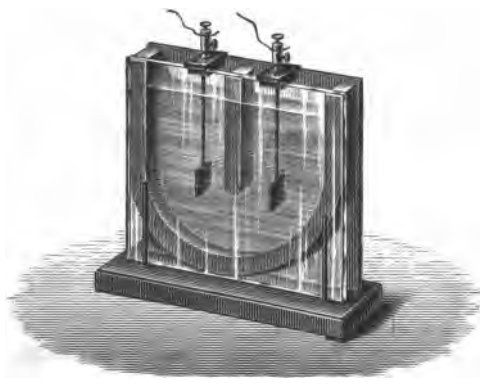
Wir stellen im Folgenden einige dieser Processe schematisch dar; ein über das chemische Zeichen gesetztes + oder — giebt an, dass sich der betreffende Körper am entgegengesetzt geladenen Pole abscheidet, der „elektropositive" Bestandtheil der Verbindung also am negativen Pole, der Kathode, der „elektronegative" am positiven Pol, der Anode.

Wird z. B. HCl zerlegt, so scheidet sich primär ab H und Cl, aus den sich aus 2 HCl abscheidenden H und Cl bildet sich H_2 und Cl_2, also:

primär	$HCl = \overset{+}{H} + \overset{-}{Cl}$,
secundär am — Pol:	$H + H = H_2$,
„ „ + Pol:	$Cl + Cl = Cl_2$

II. Apparat. Die Elektrolysen werden in Glaströgen, Fig. 258, vorgenommen, sogenannten Zersetzungszellen, in welche zwei mit Klemmschrauben in Verbindung stehende Platinbleche eintauchen.

Fig. 258.



Um die gasförmigen Producte, welche sich bei einer Elektrolyse bilden, aufzufangen, wendet man die Flasche Fig. 254 oder 259 an, bei der die Gase durch die durch den Stopfen *A* gehende Glasröhre *b* entweichen.

III. Uebungen.

1. Elektrolyse von Jodkalium. Wir setzen in einer Zersetzungszelle zu einer Lösung von Jodkalium etwas Stärkekleister und leiten den Strom hindurch.

Am + Pol scheidet sich Jod ab, das den Stärkekleister blau färbt, am — Pol entweicht Wasserstoff:

$$\text{primär . } KJ = \overset{+}{K} + \overset{-}{J},$$
$$\text{am — Pol: } 2K + 2H_2O = 2KHO + H_2$$
$$\text{„ + Pol: } J + J = J_2$$

2. Elektrolyse von verdünnter Schwefelsäure. Wir zersetzen in einem Voltameter zum getrennten Auffangen von Wasserstoff und Sauerstoff (Fig. 254) verdünnte Schwefelsäure. Am positiven Pol scheidet sich Sauerstoff, am negativen Wasserstoff aus:

Fig. 259.

$$\text{primär } H_2SO_4 = \overset{+}{H_2} + \overset{-}{SO_4}$$
$$\text{secundär am — Pol } 2(SO_4 + H_2O) = 2H_2SO_4 + O_2.$$

Der zunächst in statu nascendi abgeschiedene Sauerstoff kann auch Ozon bilden, das Wasser zu Wasserstoffsuperoxyd, die Schwefelsäure zu Ueberschwefelsäure oxydiren. Das Volumen des abgeschiedenen Sauerstoffs erscheint daher oft kleiner als die Hälfte derjenigen des Wasserstoffs.

3. Elektrolyse von Natriumsulfat. Wir versetzen im Apparat (Fig. 258) die Lösung am positiven Pol *a* mit schwach gebläuter, die am negativen Pol *b* mit schwach gerötheter Lackmustinctur.

Am positiven Pol tritt bei a) Röthung, am negativen bei b) Bläuung ein. Am positiven Pol entweicht Sauerstoff, am negativen Wasserstoff. Der Strom scheidet also am positiven Pol scheinbar Säure unter Sauerstoffentwickelung, am negativen Basis unter Wasserstoffentwickelung ab:

$$\text{primär . . } Na_2SO_4 = \overset{+}{Na_2} + \overset{-}{SO_4},$$
$$\text{secundär am —Pol: } Na_2 + 2H_2O = 2NaOH + H_2,$$
$$\text{am + Pol: } 2SO_4 + 2H_2O = 2SO_4H_2 + O_2.$$

4. Elektrolyse von Kaliumacetat. 1) In der Flasche (Fig. 259) wird eine Lösung von Kaliumacetat elektrolysirt. Am negativen Pol entweicht Wasserstoff, am positiven Pol ein brennbares, kohlehaltiges Gas:

$$\text{primär . . } CH_3COOK = \overset{+}{K} + CH_3\overset{-}{C}OO,$$
$$\text{secundär am — Pol: } 2K + 2H_2O = H_2 + 2KHO,$$
$$\text{am + Pol: } 2[CH_3COO] = (CH_3)_2 + 2CO_2.$$

Die Kohlensäure verbindet sich gleich mit dem am negativen Pol gebildeten Kaliumhydroxyd zu $2\,KHCO_3$.

2) Man fängt das durch das Glasrohr entweichende Gas über Wasser in einem Probirrohr auf und zündet es an; das Gas verbrennt.

Wir haben bei dieser Elektrolyse die Verbindung Dimethyl $(CH_3)_2$ erhalten, Kolbe glaubte CH_3, ein organisches Radical, vor sich zu haben, indess ist dies nicht der Fall, wie eine Dampfdichtebestimmung ergiebt.

5. Secundäre Processe an den Elektroden. Der Strom wird zwischen zwei Bleiplatten durch verdünnte Schwefelsäure geleitet, an der positiven Platte scheidet sich ein braunschwarzer Körper ab, Bleisuperoxyd; dasselbe entsteht in Folge der Einwirkung des Sauerstoffs in statu nascendi auf das Blei. Dieser Process findet bei der Herstellung der Secundärelemente, Accumulatoren, Anwendung. Ebenso werden andere Superoxyde hergestellt. Wir kehren den Strom um, der schwarze Körper verschwindet, er wird durch den sich jetzt abscheidenden Wasserstoff reducirt

IX. Polarisation.

1. Polarisationsströme.

Gebraucht wird: Commutator Fig. 260 oder Fig. 261; Batterie von drei Bunsenelementen; Becherglas mit zwei Platinplatten; Galvanometer; Quecksilber im Tropfglas; Leitungsdrähte.

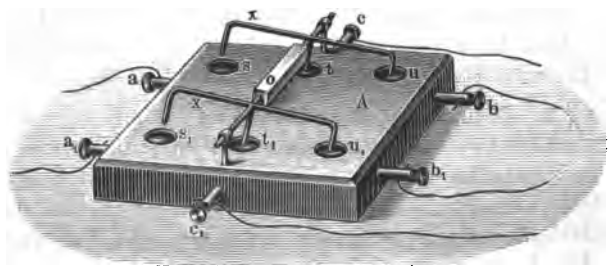
Becherglas mit Bleiplatten; verdünnte Schwefelsäure.

Wheatstone'sche Brücke; Zersetzungszellen mit verdünnter Schwefelsäure, concentrirter Salpetersäure und Chromsäurelösung.

I. Princip. Leitet man einen Strom einer Kette durch verdünnte Schwefelsäure, wobei zwei Platinplatten als Elektroden dienen, so scheiden sich an ihnen Sauerstoff und Wasserstoff ab, schaltet man dann die Kette aus und verbindet schnell die Platinplatten mit einem Galvanometer, so erhält man einen Strom, den Polarisationsstrom, der dem ursprünglichen entgegengesetzt gerichtet ist. Ebensolche Polarisationsströme treten fast stets auf, wenn durch den Strom ein Elektrolyt zersetzt wird. Die mit den abgeschiedenen verschiedenen Bestandtheilen des Elektrolyten beladenen, ursprünglich gleichartigen Elektroden bilden zusammen mit der Flüssigkeit eine Kette von bestimmter elektromotorischer Kraft. Schliesst man diese Kette in sich, so werden bei der Erzeugung des entstehenden Polarisationsstromes die abgeschiedenen Substanzen verbraucht, und derselbe hört allmählich auf.

II. Apparat. Zur Untersuchung der Polarisation dient beistehender Commutator. Die in das Holzbrett A gebohrten sechs Näpfe $s\ t\ u$ und

Fig. 260.



$s_1\ t_1\ u_1$ stehen mit den Klemmen $a\ c\ b$ und $a_1\ c_1\ b_1$ in Verbindung; in dieselben können die entsprechenden Spitzen $s'\ t'\ u'$ und $s_1'\ t_1'\ u_1'$[1]) der

[1]) In der Figur sind diese Buchstaben nicht gesetzt.

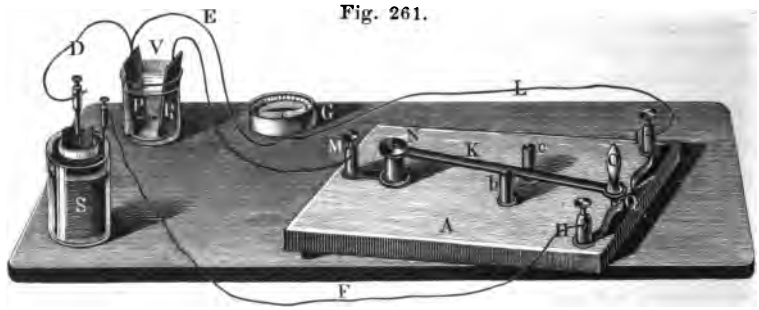
beiden Bügel $x x_1$ tauchen, welche durch das isolirende Elfenbeinstück o mit einander verbunden sind und sich mit demselben um eine horizontale Axe drehen.

Die Klemmen c und c_1 verbindet man mit der Zersetzungszelle Z, a und a_1 mit der Kette und b und b_1 mit dem Galvanometer.

Legt man nun die Bügel so, dass $s' t'$, $s_1' t_1'$ in die Näpfe tauchen, u' und u_1' aber herausgenommen ist, so geht der Strom durch die Zelle Z; legt man aber die Bügel so, dass $s' s'$ herausgezogen, $t' u'$, $t_1' u_1'$ dagegen eingetaucht sind, so geht der in Folge der Polarisation in Z entstehende Strom durch das Galvanometer.

Eine andere Anordnung giebt die Fig. 261. Liegt der Hebel O, wie es die Figur zeigt, so geht der polarisirende Strom des Elementes S

Fig. 261.



durch die Polarisationszelle V durch M, Metallhebel K, Feder, Klemmschraube H und das Galvanometer G ist ausgeschaltet; dreht man den Hebel so, dass er an c anliegt, so geht der Polarisationsstrom durch das Galvanometer G, Draht L, Klemmschraube und Feder I und Hebel K und das Element S ist ausgeschaltet.

III. **Uebung 1.** Man schaltet in einen der Apparate (Fig. 260 und 261) als Polarisationszelle einen Glastrog mit verdünnter Schwefelsäure zwischen Platinplatten ein, leitet den Strom kurze Zeit hindurch, schaltet um; das Galvanometer giebt einen starken, schnell abnehmenden Ausschlag. Man kann daher solche Polarisationszellen nicht in der Praxis zur Erzeugung von anhaltenden Strömen benutzen.

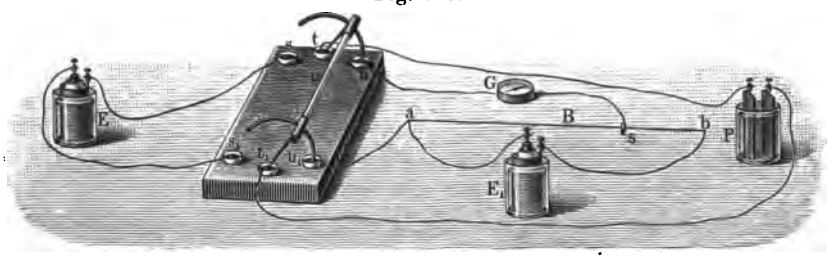
Uebung 2. Man macht denselben Versuch mit zwei Bleiplatten, die in verdünnte Schwefelsäure tauchen; der Polarisationsstrom hält hier lange an, und zwar im Princip so lange, bis alles durch den polarisirenden Strom erzeugte Bleisuperoxyd sich wieder in Blei durch den von dem Polarisationsstrome ausgeschiedenen Wasserstoff verwandelt hat.

Diese Anordnung verwendet man in der Praxis mit passenden Veränderungen bei den Accumulatoren.

2. Elektromotorische Kraft der Polarisation.

Apparat. Die Versuchsanordnung ist aus dem Schema Fig. 262 ersichtlich. Der Strom der polarisirenden Kette E geht zu den Näpfen s und s_1; liegt der Bügel o in der der in Fig. 262 gezeichneten Lage entgegengesetzten, so fliesst der Strom durch die Polarisationszelle P. Legt man dann den Bügel um, so sind die Pole von P verbunden, der eine positive direct mit dem einen Ende a der Wheatstone'schen Brücke B, der andere negative durch ein Galvanometer G mit dem Schleifcontact s auf der-

Fig. 262.



selben. Von den Enden a und b führen ausserdem Drähte zu den Polen der constanten Kette E_1. In die Zersetzungszellen P werden gebracht: a) verdünnte Schwefelsäure, b) concentrirte Salpetersäure, c) Chromsäurelösung zwischen Platinplatten.

Uebung 1. Die elektromotorische Kraft der Polarisation wird für Platinplatten in verdünnter Schwefelsäure bestimmt.

1) Man polarisirt die Platinplatten in verdünnter Schwefelsäure.

2) Man legt schnell den Bügel um, während der Schleifcontact s ziemlich weit gegen b hin geschoben und auf den Draht gedrückt ist. Tritt ein Ausschlag am Galvanometer ein, so rückt man s von b nach a hin, bis die Nadel in Ruhe ist.

3) Man polarisirt von Neuem, legt um und verschiebt s, bis wieder kein Ausschlag eintritt, und liest ab.

4) Man schiebt s beliebig weit nach a hin; es tritt kein Ausschlag des Galvanometers ein. Der sich von dem Hauptstrom abzweigende Nebenstrom wird eben stets an den Platten in P eine Polarisation hervorrufen, deren elektromotorische Kraft gleich und entgegengesetzt der erregenden ist, wenn letztere nicht zu gross ist.

5) Man schaltet statt der Polarisationszelle ein Normalelement ein.

6) Wendet man als polarisirende Kette etwa drei hinter einander geschaltete Bunsen'sche Elemente an, so erreicht die Polarisation ein Maximum, welches etwa gleich 2 Volts ist.

IV. Berechnung. Nach der S. 401 angegebenen Berechnung erhält man aus diesen Messungen sehr angenähert die elektromotorische Kraft der Polarisation.

Uebung 2. Derselbe Versuch wird mit den beiden anderen Zersetzungszellen angestellt. Am kleinsten ist die elektromotorische Kraft der Polarisation bei Salpetersäure, am grössten bei Schwefelsäure.

Uebung 3. Die drei unter a) b) c) aufgeführten Zersetzungszellen werden hinter einander in den Schliessungskreis einer Säule von 3 bis 4 Bunsen'schen Elementen geschaltet. In *a* findet lebhafte Wasserstoffabscheidung statt, eine weit geringere in *b* und *c*. In *b* entwickeln sich Dämpfe von Untersalpetersäure in Folge der Reduction der Salpetersäure, *c* färbt sich grün in Folge der Reduction der Chromsäure.

Bemerkung. Inconstanz der Ketten. Durch die Polarisation wird die Abnahme der elektromotorischen Kraft der Elemente, also deren Inconstanz, bedingt.

Der Strom zerlegt die Leiter zweiter Classe in einer Kette gerade ebenso, wie diejenigen in einem Voltameter. Die durch die abgeschiedenen Substanzen bedingte elektromotorische Kraft ist derjenigen der Kette selbst entgegengesetzt und schwächt sie daher. Besonders nachtheilig ist die durch den Wasserstoff bedingte Polarisation. Bei den constanten Ketten wird möglichst dafür gesorgt, dass die abgeschiedenen Ionen, vor Allem der Wasserstoff, fortgeschafft werden, resp. dass die Ionen solche sind, dass durch sie keine Polarisation hervorgerufen wird (vgl. oben).

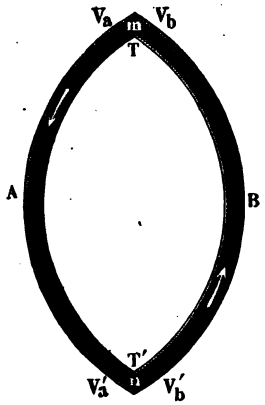
Zum Entfernen des Wasserstoffs dienen starke Oxydationsmittel, Chromsäure, Salpetersäure, Mangansuperoxyd, die dabei selbst reducirt werden.

X. Thermoelektricität.

Gebraucht wird: Kupfer-Wismuth- und Kupfer-Antimonbügel (Fig. 264); Alkoholflamme oder Bunsenbrenner. Das Thermoelement (Fig. 265) mit Thermometern, Oel, Brenner; Galvanometer mit Magnetstab zum Astasiren; Commutator; Leitungsdrähte; Coordinatenpapier; Eisenkupferelement; 1 mm starker Eisendraht; Klemmschrauben.

I. Einleitung. Berühren sich zwei verschiedene Leiter A und B (Fig. 263) mit ihren Enden und erwärmt man die eine der beiden Berührungsstellen (Löthstellen), während man die andere auf constanter Temperatur erhält, so entsteht ein galvanischer Strom, der die beiden Leiter in einem bestimmten Sinne durchfliesst. Erwärmt man die andere Berührungsstelle, so fliesst der Strom im entgegengesetzten Sinne. Kühlt man die eine Löthstelle unter die Temperatur der anderen ab, so fliesst der Strom im entgegengesetzten Sinne, wie beim Erwärmen. Haben demnach die Berührungsstellen zweier Leiter verschiedene Temperaturen, so treten elektromotorische Kräfte, thermoelektromotorische Kräfte E auf, die einen Strom, Thermostrom, hervorrufen, der durch die wärmere und die kältere Stelle stets in einem bestimmten Sinne von der einen Substanz zu der anderen fliesst. Als Leiter nimmt man gewöhnlich Metalle. Thermoelement nennt man die Verbindung zweier Leiter, die bei verschiedener Temperatur der Löthstellen einen Strom liefert. Die Intensität des Stromes i ist wie bei den hydroelektrischen Strömen bestimmt durch die Formel

Fig. 263.



$$i = \frac{E}{w} = \frac{E}{w_i + w_a}.$$

Da der Widerstand w_i im Thermoelement und seine Aenderung mit der Temperatur sehr klein ist, so hängt die Aenderung der Intensität des Thermostromes bei nicht zu kleinem, constantem äusseren Widerstand w_a

nur von der Aenderung der elektromotorischen Kraft ab. Die thermoelektromotorische Kraft ist bestimmt durch die Natur der sich berührenden Leiter A und B und durch die Temperaturen t_1 und t_2 der beiden Löthstellen. Ist die Temperaturdifferenz der beiden Löthstellen nicht gross, so ist in den meisten Fällen die elektromotorische Kraft ihr nahe proportional. Es ist

$$E = c\ (t_2 - t_1).$$

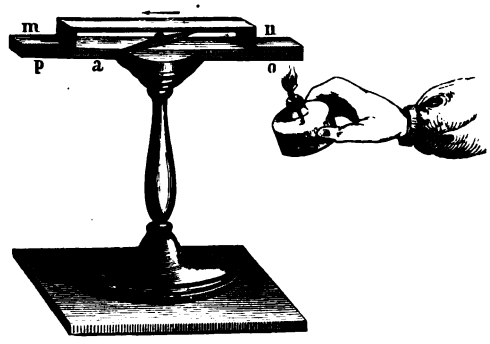
c ist die thermoelektromotorische Kraft, die auftritt bei der Temperaturdifferenz von einem Grade.

Leiten wir den Strom durch ein Spiegelgalvanometer mit nicht zu kleinem Widerstande, und beobachten dessen Ausschläge, so sind dieselben angenähert proportional der Intensität des Stromes, also in unserem Falle angenähert proportional der elektromotorischen Kraft, bezw. auch der Temperaturdifferenz der beiden Löthstellen.

1. Vorübung.

II. Apparat. Auf den von einem Stativ getragenen Wismuthstab po (Fig. 264) ist der Kupferbügel mn aufgelöthet; unter diesem ist die auf einer Spitze frei bewegliche Magnetnadel aufgestellt. Bei einem anderen, ganz ähnlichen Apparat ist der Wismuthstab durch einen Antimonstab ersetzt.

Fig. 264.



III. Uebung. 1) Man stellt den Apparat (Fig. 264) so auf, dass der Wismuthstab und der Bügel im magnetischen Meridian liegen, der Stab und Bügel also der Magnetnadel parallel laufen.

2) Man erwärmt die eine Löthstelle, die Nadel schlägt bei allmählichem Erwärmen immer stärker aus; man bestimmt nach der Ampère'schen Regel (vergl. S. 376) die Stromrichtung: Der Strom geht an der heissen Löthstelle vom Wismuth zum Kupfer.

3) Man lässt die zuerst erwärmte Löthstelle sich abkühlen und erwärmt die andere. Man bestimmt wieder die Stromrichtung: Der Strom geht wieder an der heissen Löthstelle von dem Wismuth zum Kupfer.

4) Man wiederholt dieselben Versuche mit dem Kupfer-Antimonbügel: Der Ausschlag ist viel stärker, der Strom geht an der erwärmten Stelle vom Kupfer zum Antimon.

Man findet also: Die Stärke und Richtung des Thermostromes hängt von der Natur der sich berührenden Leiter und von dem Temperaturunterschied der Berührungsstellen ab.

(Daraus, dass im zweiten Falle diese Ausschläge viel stärker sind als im ersten, lässt sich kein Schluss auf eine stärkere elektromotorische Kraft im zweiten ziehen, da hier nur ein innerer Widerstand vorhanden ist, und dieser im zweiten Falle kleiner ist als im ersten.)

2. Bestimmung der Temperatur mit dem Thermoelement.

I. Princip. Da mit wachsendem Temperaturunterschiede der beiden Löthstellen eines Thermoelementes die thermoelektromotorische Kraft sich ändert, so kann man das Thermoelement benutzen, um Temperaturen t zu messen. Man erhält zu diesem Zwecke die eine Löthstelle auf constanter Temperatur t_0, bringt die andere mit dem Körper in Berührung, dessen Temperatur man messen will, und misst die Stärke des Thermostromes mit dem Galvanometer.

Um die Temperaturen in Celsiusgraden zu erhalten, muss man bestimmen, welchen Temperaturen der erwärmten Löthstelle die einzelnen Galvanometerausschläge entsprechen: man muss das Thermoelement aichen. Dies geschieht entweder dadurch, dass man für eine Reihe von Temperaturen die Ausschläge bestimmt und beide Grössen zu einer Tafel zusammenstellt oder dass man ihre gegenseitige Abhängigkeit durch eine Curve oder Formel darstellt (vergl. S. 171).

Gilt in dem Temperaturintervall, um das es sich handelt, die Gleichung $E = c\,(t - t_0)$ (siehe oben), so ist der Galvanometerausschlag

$$\alpha = \gamma\,(t - t_0) \quad \text{und} \quad t - t_0 = \frac{\alpha}{\gamma}, \quad t = t_0 + \frac{\alpha}{\gamma}.$$

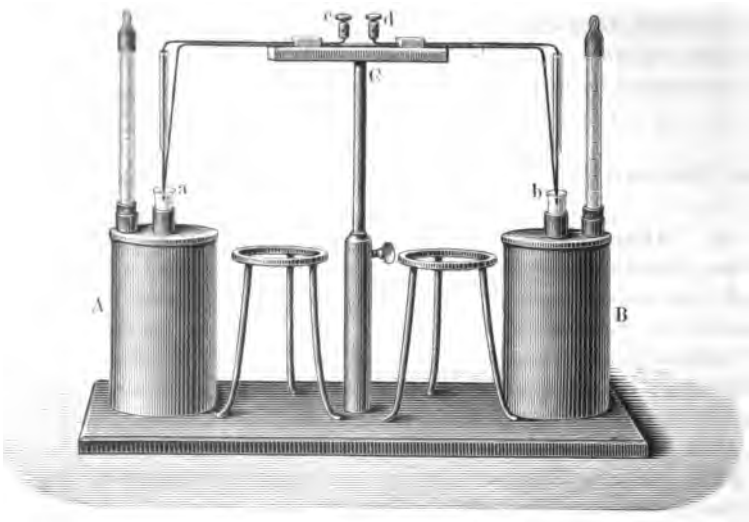
Die Constante γ, d. h. den Zuwachs des Ausschlages für die Aenderung der Temperatur um einen Grad, erhält man, wenn man für irgend eine Temperaturdifferenz $t - t_0$ den Ausschlag α bestimmt.

II. Apparat. Das Thermoelement (Fig. 265 a. f. S.) besteht aus einem circa 3 mm dicken Neusilberdraht, der bei a und b mit je einem ebenso starken Kupferdraht verlöthet ist; die beiden Kupferdrähte tragen bei c und d Klemmschrauben; über die verticalen Enden der Kupferdrähte sind bei a und b Glasröhren geschoben, welche bis an die Löthstellen reichen. Die Löthstellen a und b werden in Probirröhren getaucht, welche mit Oel gefüllt sind. Sie werden in die mit Wasser gefüllten Blechgefässe A und B gesenkt. In jedes derselben taucht ausserdem ein Thermometer. Beim Gebrauch werden A und B auf Dreifüsse gestellt und das die Drähte tragende Brett C in entsprechender Höhe festgestellt.

Zu den Beobachtungen dient ein empfindliches Spiegelgalvanometer.

III. **Uebung 1.** Aichen des Thermoelementes. 1) Man stellt nach den S. 409 gegebenen Vorschriften das Galvanometer und das

Fig. 265.



Fernrohr mit der Scala auf, und astasirt das Galvanometer ziemlich stark.

2) Man füllt die Probirröhren mit Oel, die Gefässe A und B mit Wasser und setzt das Thermoelement zusammen.

3) Man verbindet die Klemmschrauben c und d mit einem Commutator und diesen mit dem Galvanometer. Wenn die Temperaturen in A und B gleich sind, erhält man keinen Ausschlag.

4) Man erwärmt A langsam, hält durch geeignetes Reguliren der Flamme die Temperatur von Zeit zu Zeit eine Weile constant und liest dabei ab:

die Temperatur in A: t_a,
„ „ „ B: t_b,
den Ausschlag des Galvanometers: α.

5) Man erhitzt bis zum Sieden, liest ab und nimmt die Flamme fort. Auch bei absteigender Temperatur stellt man wie unter 4) eine Reihe von Messungen an. Durch Untersetzen und Reguliren der Flamme erhält man dabei die Temperatur eine Zeit lang constant.

7) Man bildet für alle Ablesungen $t_a - t_b$ und zeichnet eine Curve, indem man $t_a - t_b$ als Abscissen, die zugehörigen α als Ordinaten wählt.

Uebung 2. Messung der Temperatur. 1) Man erwärmt A auf eine beliebige Temperatur, beobachtet den Galvanometerausschlag α und liest die Temperatur t_a in A und t_b in B ab.

2) Man geht in einer der Grösse von α entsprechenden Höhe der Curventafel entlang, bis man die Curve trifft; der zugehörige Abscissenwerth, bei dem dies eintritt, sei t. Dann ist $T = t + t_b$ die Temperatur in A während der Beobachtung. Es muss $T = t_a$ sein.

Bemerkung. Aus dem Verlaufe der Curve erkennt man, inwieweit man bei dem benutzten Thermoelement $E = c\ (t - t_0)$ setzen kann; dies ist nur möglich innerhalb der Temperaturintervalle, innerhalb deren die Curve geradlinig verläuft.

Die Messung der Temperatur mit Thermoelementen findet besonders bei sehr hohen Temperaturen vielfach Anwendung, wobei letzteres kaum mehr der Fall ist.

3. Abweichungen von dem Proportionalitätsgesetze $E = c\ (t - t_0)$.

Uebung. 1) Ein aus einem Eisen- und einem hart angelötheten Kupferdraht bestehendes Thermoelement wird mit dem Galvanometer verbunden.

2) Man erwärmt die Löthstelle mit dem Bunsenbrenner und verfolgt den Ausschlag. Derselbe wächst erst sehr rasch, dann langsamer, bleibt einen Moment constant, nimmt dann wieder ab, wird Null und geht nach der entgegengesetzten Seite.

3) Man entfernt den Brenner und lässt die Löthstelle wieder abkühlen; man beobachtet den umgekehrten Verlauf des Ausschlages.

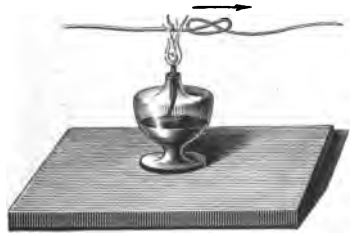
Die thermoelektromotorische Kraft des Eisen-Kupferelementes nimmt mit steigender Temperatur erst zu, dann ab, wird Null und kehrt sich dann um.

Thermoelemente, die ein derartiges Verhalten zeigen, sind selbstverständlich nicht zu Temperaturmessungen zu benutzen.

4. Thermoströme zwischen verschiedenen Stellen derselben Substanz.

Uebung 1. 1) Aus einem circa 1 mm dicken Eisendraht bindet man eine Schlinge, wie sie Fig. 266 zeigt, und verbindet seine Enden mit dem Galvanometer.

Fig. 266.



2) Man erwärmt erst die eine, dann die andere Seite der Schlinge: Man erhält einen Ausschlag in dem einen und anderen Sinne.

3) Beim Ziehen und Biegen der Schlinge erhält man Ausschläge von verschiedener Richtung und Stärke.

Uebung 2. 1) Man spannt einen circa 1 m langen, 1 mm dicken Eisendraht zwischen zwei Stativen horizontal aus und verbindet seine Enden mit dem Galvanometer.

2) Man geht mit der Bunsenflamme langsam am Drahte entlang: Das Galvanometer zeigt das Auftreten von bald stärkeren, bald schwächeren Thermoströmen an.

Bemerkung. Die hier auftretenden Thermoströme rühren davon her, dass verschieden harte und weiche Stellen desselben Drahtes sich beim Erwärmen wie verschiedene Metalle verhalten und einen thermoelektrischen Strom geben. — Auch können eventuell die auf den Drähten gebildeten Oxydoxydulschichten gegenüber dem Eisen bei verschiedener Erwärmung der verschiedenen Stellen hierbei thermoelektromotorisch wirken.

XI. Elektrodynamik, Elektromagnetismus und Induction.

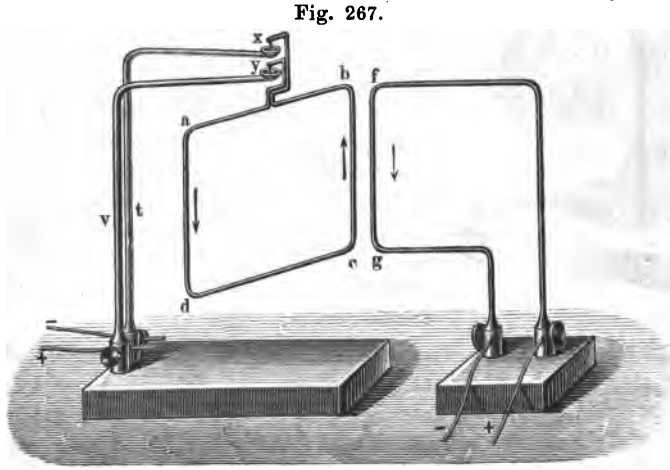
Gebraucht wird: Ampère's Stative; zwei Commutatoren; zwei Chromsäure-Elemente; Stativ mit den Buff'schen Bandspiralen; zwei Solenoide auf Stativen; zwei an Fäden aufgehängte Magnetstäbe; weicher Eisenkern mit Drahtspirale; Stahl- (Strick-) Nadel; Pappkästchen mit kleinen Drahtnägeln; kleine Bussole; der Wagner'sche Hammer; Spiegelgalvanometer mit Fernrohr und Scala resp. zur Projection; Disjunctor; Drahtspiralen; starker Stabmagnet; Eisenkern; Inductions-(Schlitten-)Apparat mit einem Messing-, einem massiven Eisen- und einem Eisendrahtbündelkern und Handhaben.

1. Wechselwirkung zwischen Strömen und Strömen: Elektrodynamik.

Im Folgenden geben wir zum Theil keine eigentliche Beschreibung von Apparaten; die Einrichtung der verwendeten Anordnungen geht theils aus den Figuren, theils aus den Uebungen selbst unmittelbar hervor.

Uebung 1. Man verbindet die Klemmschrauben der Ampère'schen Stative, Fig. 267, unter Zwischenschaltung je eines Commutators mit den

Fig. 267.



Polen eines Chromsäure-Elements, und zwar so, dass die Ströme in der in der Figur angedeuteten Richtung laufen. Nähert man den Theil *gf*

dem Theil ad, so zeigt sich eine Anziehung, nähert man den Theil gf dem Theil cb, so zeigt sich eine Abstossung. Es ergiebt sich:

Gleich gerichtete Ströme ziehen sich an, entgegengesetzt gerichtete stossen sich ab (Elektrodynamische Wirkungen).

Man wechselt die Stromrichtung und controlirt das gefundene Resultat nochmals.

Fig. 268.

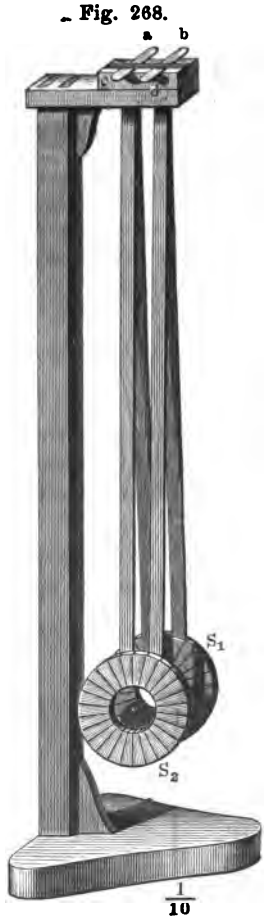
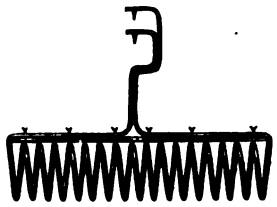


Fig. 269.



Uebung 2. Man verbindet die Enden a und b der einen Spirale S_1 (Fig. 268) (der Buff'schen Bandspiralen) und die Enden c und d der anderen S_2 unter Einschaltung von Commutatoren mit den Polen je eines Elementes. Man beobachtet Anziehungen und Abstossungen. Wenn man die Stromrichtung verfolgt, so ergiebt sich dasselbe Gesetz wie oben. (Zu beachten ist, dass bei den Spiralen wesentlich nur die einander zunächst liegenden Theile Wirkungen auf einander ausüben.)

Uebung 3. Man hängt die Drahtspirale (Fig. 269) auf das Stativ Fig. 267 und nähert ihrer Grundfläche diejenige einer eben solchen Spirale; durch beide leitet man Ströme. Fliessen in den benachbarten, einander zugekehrten kreisförmigen Grundflächen die Ströme in gleichem Sinne, so ziehen sich die Spiralen an, sonst stossen sie sich ab. Eine solche Spirale nennt man ein Solenoid. (Streng genommen ist ein Solenoid eine unendlich dünne Spirale.)

Uebung 4. Man überlässt die aufgehängte stromdurchflossene Spirale eine Zeit lang sich selbst. Sie richtet sich mit ihrer Axe nach Nord-Süd, und zwar so, dass in dem nach Norden gerichteten Ende die Ströme einem von aussen darauf blickenden Beobachter entgegengesetzt dem Sinne des Uhrzeigers zu fliessen scheinen, in dem nach Süden gerichteten Ende in dem Sinne des Uhrzeigers. Man spricht von einem Nord- und einem Südpol des Solenoides oder der Spirale.

2. Wechselwirkung zwischen Strömen und Magneten: Elektromagnetismus.

Uebung 1. Man hängt zwei Magnetstäbe frei beweglich in grösserer Entfernung von einander auf. Sie richten sich mit ihren Axen von Nord nach Süd. Man bezeichnet die nach Norden gerichteten Enden, die Nordpole, durch eine Marke, die nach Süden gerichteten Pole, die Südpole, lässt man unbezeichnet. Nähert man den Nordpol des einen Magneten dem Nordpol des anderen, oder den Südpol des einen dem Südpol des anderen, so stossen sie sich ab, nähert man den Südpol des einen dem Nordpol des anderen oder umgekehrt, so ziehen sie sich an. Gleichnamige Pole stossen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

Uebung 2. a) Man nähert dem Nordende eines am Stativ aufgehängten vom Strom durchflossenen Solenoides (Fig. 269) den Nordpol eines Magneten, es wird abgestossen, man nähert den Südpol, es wird angezogen.

b) Man nähert die stromdurchflossene Spirale einer drehbaren Magnetnadel, der Nordpol wird vom Nordende abgestossen, der Südpol angezogen, umgekehrt ist es am Südende.

Aus dem Obigen folgt: In vieler Hinsicht verhalten sich Solenoide wie Magnete und Magnete wie Solenoide. Das einen Magneten ersetzende Solenoid ist so beschaffen, dass einem von aussen blickenden Beobachter an dem Nordpole die Ströme entgegengesetzt dem Sinne des Uhrzeigers, am Südpole im Sinne des Uhrzeigers zu fliessen scheinen (Fig. 270).

Uebung 3. a) Wir legen in eine Drahtspirale eine Glasröhre, Fig. 271 (in der Figur ist die Glasröhre fortgelassen), und in diese einen weichen Eisendraht. Eisenstückchen, etwa kleine Nägel, werden von dem-

Fig. 270.

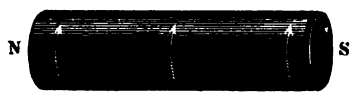
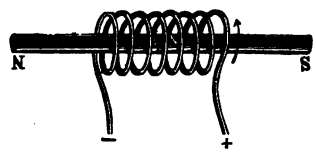


Fig. 271.



selben zunächst nicht angezogen. Wir leiten jetzt einen Strom durch die Spirale; der Eisendraht zieht die Nägel an und trägt sie, er wird magnetisch; wir unterbrechen den Strom, die Nägel fallen ab, der Draht wird wieder unmagnetisch. Im ersten Falle ist der Eisendraht ein Elektromagnet geworden. Ein Elektromagnet ist ein Stück weiches Eisen, das durch einen Strom, den man um dasselbe leitet, in einen Magneten verwandelt ist. Beim Aufhören des Stromes verschwindet der Magnetismus mehr oder weniger vollständig.

b) Wir legen in die Glasröhre in der Spirale ein Stück Stahl (eine Stricknadel), der Stahl wird beim Herumleiten des Stromes magnetisch, wenn auch schwächer als das Eisen, es haften an ihm die Nägel; wir öffnen den Strom, die Nägel fallen nicht ab, der Stahl bleibt mehr oder weniger vollständig magnetisch.

c) α) Wir nähern der vom Strome durchflossenen Spirale, die mit ihrer Axe in der OW-Richtung aufgestellt ist, eine auf einer Spitze schwebende Magnetnadel, und bestimmen das Ende der Spirale, von dem der Nordpol angezogen, der Südpol abgestossen wird. β) Wir legen in die Spirale das weiche Eisen, der Nordpol wird viel stärker angezogen, der Südpol viel stärker abgestossen. Daraus folgt: Der durch den Strom in einem weichen Eisenkern erzeugte Magnetpol ist stets so beschaffen, dass wir annehmen können, es fliessen um ihn Ströme in demselben Sinne, wie in der magnetisirenden Spirale.

Allgemeine Bemerkung: Ampère hat die Anschauung aufgestellt, dass die magnetisirbaren Körper aus kleinen Molecularmagneten bestehen, gebildet aus Molecülen, die von Kreisströmen umflossen und durch die Molecularkräfte in ihren gegenseitigen Lagen erhalten werden. Beim Magnetisiren werden alle diese Molecularmagnete mit ihren Kreisströmen um ihre Schwerpunkte gedreht, mehr oder weniger vollkommen gerichtet, und zwar, wie die oben ausgeführten Versuche zeigen, so, dass die Molecularströme dem magnetisirenden Strom mehr oder weniger parallel liegen und mit ihm im gleichen Sinne fliessen. Beim Aufheben der magnetisirenden Kraft kehren beim Eisen die Molecularmagnete fast völlig durch die Wirkung der Molecularkräfte in ihre ursprüngliche Lage zurück, beim Stahl bleiben sie in Folge von Reibungskräften, der Coërcitivkraft, mehr in ihrer neuen Lage, werden aber auch in Folge derselben viel schwieriger in eine bestimmte Lage gebracht, als beim Eisen.

3. Erzeugung von Strömen durch Induction.

1. Elektroinduction.

Ströme, die dadurch in Leitern entstehen, dass in ihrer Umgebung Ströme ihre Intensität verändern, oder dadurch, dass die Leiter ihre gegenseitige Lage verändern, heissen Inductionsströme.

Wir verwenden zur Prüfung der Inductionsspirale die Buff'schen Spiralen (Fig. 268). Die Spirale S_1 wird mit einem Commutator, einem Unterbrecher und einem Chromsäureelement in einen Stromkreis geschaltet; die Spirale S_2 wird mit einem Spiegelgalvanometer in einen Kreis geschaltet [1]). Die Spirale S_1 heisst die primäre oder induci-

[1]) Am besten ist es, ein zur objectiven Darstellung eingerichtetes Spiegelgalvanometer zu verwenden, damit mehrere Praktikanten gleichzeitig die Erscheinung beobachten können.

rende Spirale, die Spirale S_2 die secundäre oder inducirte Spirale, die Ströme in S_1 heissen inducirende, in S_2 inducirte Ströme oder Inductionsströme.

Uebung. 1) Man bestimmt den Sinn des Ausschlages des Galvanometers, wenn durch das Galvanometer ein Strom in bestimmtem Sinne geht.

2) Man schliesst den durch S_1 fliessenden Strom dauernd.

3) Man nähert S_1 an S_2. Das Galvanometer schlägt aus, in S_2 ist ein Strom inducirt, welcher dem inducirenden Strome entgegengesetzt gerichtet ist.

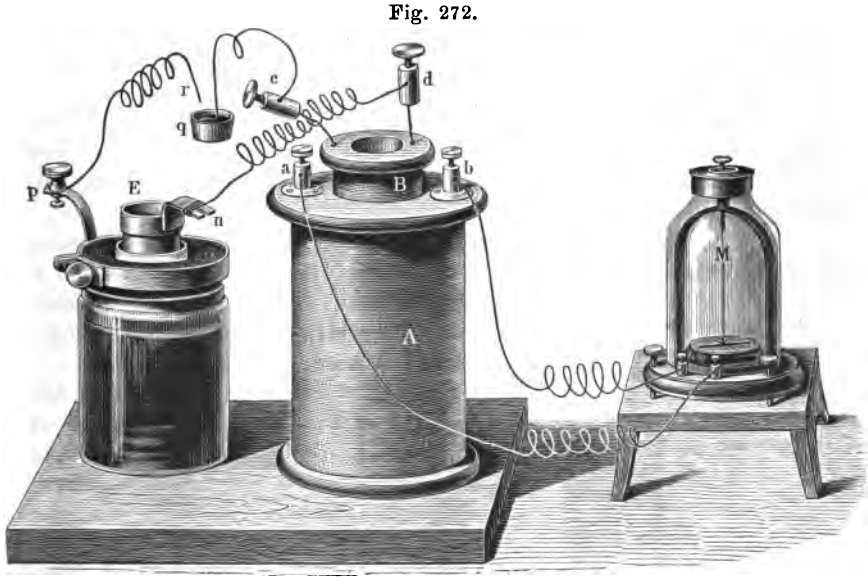
4) Man entfernt S_1 von S_2. Das Galvanometer schlägt aus, der inducirte Strom ist dem inducirenden gleich gerichtet.

5) Man schliesst den inducirenden Strom in S_1, es wird ein dem inducirenden Strome entgegengesetzter inducirt.

6) Man öffnet den inducirenden Strom in S_1, es wird ein dem inducirenden gleich gerichteter inducirt.

Dieselben Versuche werden mit den Spiralen A und B (Fig. 272) angestellt. B ist die inducirende, primäre Spirale, sie besteht aus dickem

Fig. 272.



Draht; A ist die inducirte, secundäre Spirale, sie besteht aus dünnem Draht. Man schiebt B in A hinein oder zieht B aus A heraus, man schliesst oder öffnet den Strom in B durch Eintauchen des Drahtes r in das Quecksilbernäpfchen q oder Herausziehen aus demselben. Die Ausschläge werden viel grösser als vorher bei 5 und 6, da die Zahl der auf einander wirkenden Drahtwindungen viel grösser ist. Statt des in der Figur gezeichneten Nadelgalvanometers M wird besser ein Spiegelgalvanometer benutzt. Der Sinn der Ausschläge ist der von 3) bis 6) angegebene.

Bemerkung. Das Schliessen und Oeffnen des Stromes, d. h. das Entstehen und Vergehen des Stromes in einem an einem Orte ruhenden Leiter, entspricht vollkommen der Annäherung des Stromes aus sehr grosser (unendlicher) Entfernung bis zu diesem Orte oder der Entfernung bis zu unendlich grosser Entfernung von diesem Orte.

Der inducirte Strom hat nur eine sehr kurze Dauer; nachdem der Strom geschlossen und constant geworden oder geöffnet und verschwunden ist, kehrt daher die Nadel sehr schnell in ihre Nulllage zurück.

2. Magnetoinduction.

1) Man nähert einen Magneten mit dem Nordpol der Spirale S_2 (Fig. 268), es wird ein Strom inducirt, der den Molecularströmen im Magneten entgegengesetzt gerichtet ist.

2) Man entfernt den Magneten von der Spirale S_2, es wird ein Strom inducirt, der den Molecularströmen im Magneten gleich gerichtet ist.

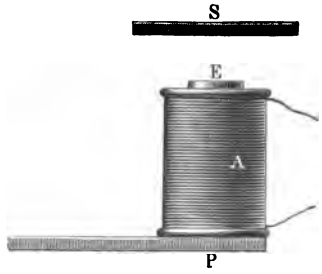
3) Nimmt man statt des Nordpols den Südpol, so kehrt sich die Richtung der Ströme um.

4) Man steckt in die Spirale B (Fig. 272) einen weichen Eisenkern und nähert den Südpol eines Magnetstabes dem einen Ende des Eisenkernes; dadurch entsteht in demselben ein magnetischer Nordpol, wodurch ein Strom wie in 1) inducirt wird.

5) Man entfernt den Magneten, wobei der Magnetismus des Eisenkernes wieder verschwindet: es wird ein Strom von der entgegengesetzten Richtung inducirt. Dasselbe tritt ein, wenn man dem Eisenkern den Nordpol des Magneten nähert.

6) Die Spirale A (Fig. 273) wird auf den einen Pol P eines kräftigen Stabmagneten gestellt, in die Spirale A wird auf den Pol P ein weicher Eisencylinder E gesetzt, der bis an das obere Ende von A reicht, derselbe wird dadurch magnetisch; man nähert und entfernt ein Stück weichen Eisens S, dann treten in A Ströme auf, die in den beiden Fällen in entgegengesetztem Sinne fliessen. Durch das Annähern und Entfernen wird der Magnetismus des magnetischen Eisencylinders verstärkt und geschwächt. Hierdurch werden in der umgebenden Spirale Ströme von gleicher Richtung hervorgerufen, wie beim Entstehen und Verschwinden von Magnetismus. Diese Erscheinung findet beim Telephon Verwendung.

Fig. 273.



7) Unterbricht und schliesst man schnell hinter einander den primären Stromkreis, so entstehen im secundären Stromkreise abwechselnd entgegengesetzt gerichtete Ströme, ein eingeschaltetes Galvanometer zeigt keinen Ausschlag. Die beim Oeffnen und Schliessen im

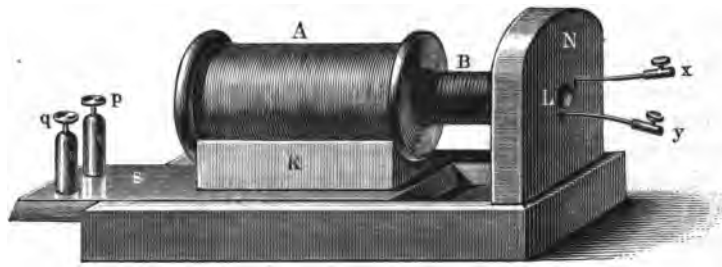
einen und anderen Sinne bewegten Elektricitätsmengen sind einander gleich.

Allgemeines. Die Richtung der auf diese Weise erzeugten inducirten Ströme ist eine solche, dass sie, auf die erzeugenden Ströme oder Magnete wirkend, die den letzteren ertheilte Bewegung in die entgegengesetzte verwandeln würden, z. B. beim Annähern werden entgegengesetzt gerichtete Ströme inducirt, die sich abstossen, beim Entfernen gleich gerichtete, die sich anziehen (Gesetz von Lenz).

3. Inductionsapparat, Schlittenapparat.

Apparat. Der Inductionsapparat (Fig. 274) besteht aus einer primären Spirale *B* und einer secundären *A*. Ueber die primäre Spirale *B* aus dickem Draht, die in den Drähten *x* und *y* ausläuft, lässt sich die

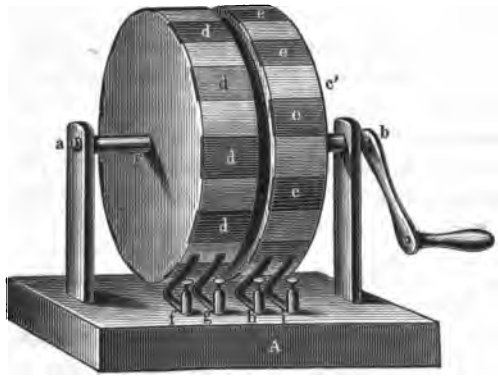
Fig. 274.



secundäre Spirale *A* aus dünnem Draht und von vielen Windungen schieben; ihre Enden sind mit den Klemmen *q* und *p* verbunden. Die primäre Spirale *B* ist hohl.

Schliesst oder öffnet man den inducirenden Strom eine Anzahl von Malen hinter einander, so erhält man entsprechend stärkere Wirkungen.

Fig. 275.



Zum raschen, wiederholten Oeffnen und Schliessen des Stromes bedient man sich entweder a) des Disjunctors oder b) des Wagner'schen oder Neef'schen Hammers.

a) Der Disjunctor besteht aus einer isolirenden Axe *ab* (Fig. 275), auf die zwei Räder *c* und *c'* aufgesetzt sind, deren Ränder abwechselnd mit nicht leitenden Segmenten *d* und *e* ausgelegt werden und die sich gegen einander drehen lassen. Gegen die Räder schleifen die mit den gleichnamigen

Klemmschrauben verbundenen Federn f, g und h, i. Die Räder c und c' werden durch eine Kurbel mit der sie tragenden Axe in Rotation versetzt. Man schaltet durch die Klemmschrauben f und g das Rad c in einen Schliessungskreis ein, welcher eine Säule und die inducirende Spirale enthält, während das Rad c' durch die Klemmschrauben h und i in den Schliessungskreis der Inductionsspirale eingefügt wird.

Hat man die Räder c und c' α) so auf die Axe aufgesetzt, dass bei ihrer Drehung die Federn h und i eher auf die Metalloberflächen des Rades c' treten, als die Federn f und g auf die Metalloberflächen des Rades c, daher erstere auch früher von jenen Oberflächen abgleiten als letztere, so ist der Kreis des inducirten Stromes nur bei der Schliessung des primären Stromes geschlossen, bei der Oeffnung desselben geöffnet; durch den Kreis des inducirten Stromes kann nur der Schliessungsstrom hindurchgehen. β) Stellt man die Räder so, dass die Federn h und i später auf die Metallflächen von c' auftreffen und später von ihnen abgleiten, als die Federn f und g auf die Metallflächen von c, so kann durch den Schliessungskreis der Inductionsspirale nur der Oeffnungsstrom fliessen. — Wählt man die Metallflächen des Rades c' etwas breiter als die des Rades c, so kann man γ) beide Räder so stellen, dass die Mitten ihrer Metallflächen einander entsprechen. Dann wird bei der Drehung der Räder der inducirte Kreis vor dem inducirenden geschlossen und nach dem Oeffnen desselben geöffnet, und durch den ersteren gehen sowohl die Schliessungs- wie die Oeffnungsströme hindurch.

b) Der Wagner'sche oder Neef'sche Hammer[1]) (Fig. 276) ist eine automatische Vorrichtung zum Oeffnen und Schliessen der Ströme. Der inducirende Strom durchfliesst die Leitung *dopcbae* und geht dann um den Elektromagneten M nach der Klemmschraube f. n ist ein Eisenstück, c eine kleine Platinspitze, die auf einem Platinblech ruht. Ist der Strom geschlossen, so wird M magnetisch, zieht n an, dadurch wird bei c der Strom unterbrochen. Daher wird M wieder unmagnetisch, das Eisenstück n federt zurück, dann entsteht aber von Neuem Contact zwischen p und c, der Strom wird geschlossen, M wird wieder magnetisch u. s. f.

Bei den gewöhnlich benutzten Inductionsapparaten ist in B (Fig. 274) ein Eisendrahtbündel eingelegt, das als Elektromagnet eines Neef'schen Hammers wirkt, der dem Ende dieses Bündels gegenüber aufgestellt ist. Die Feder *oo* steht dann vertical, die Spitze *qc* horizontal.

Uebung. 1) Man stellt die Räder des Disjunctors wie oben unter α) angegeben ist, schliesst den secundären Stromkreis durch ein Galvanometer und dreht erst langsam, dann schneller. Der Ausschlag wächst, der inducirte Schliessungsstrom ist dem inducirenden entgegengesetzt.

---

[1]) Wir beschreiben diese Vorrichtung, weil sie bei allen Inductionsapparaten angebracht ist.

2) Man stellt die Räder, wie bei β) angegeben ist, der inducirte Oeffnungsstrom ist dem inducirenden gleich gerichtet.

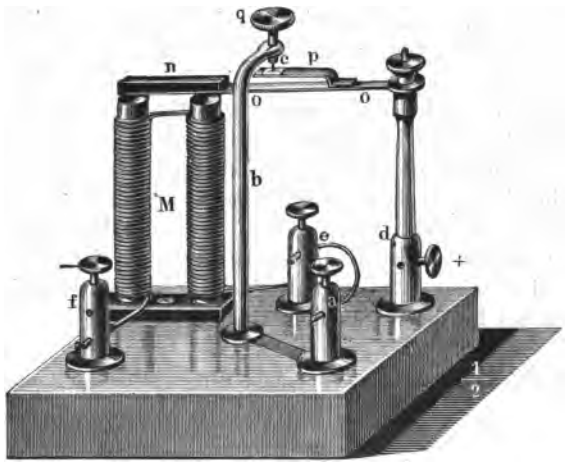
3) Man stellt die Räder, wie bei γ) angegeben ist. Man erhält keine Ablenkung, weil die in dem Oeffnungsstrome bewegte Elektricitätsmenge gleich der in dem Schliessungsstrome bewegten ist.

4) Man schiebt A bei der Stellung der Räder α und β verschieden weit über B, je weiter die Spiralen in einander stecken, um so stärkere Ströme erhält man.

5) Man schiebt in B durch L einen Messingstab, die Intensität des inducirten Stromes in A ändert sich kaum.

6) Man schiebt in B einen Eisenstab: die Intensität des inducirten Stromes in A wächst bedeutend. Der Grund hierfür ist folgender: Durch

Fig. 276.



den primären Strom wird in A beim Schliessen ein ihm entgegengesetzter Strom inducirt, gleichzeitig wird der Eisenstab magnetisch, und dies entspricht dem Entstehen von gleich gerichteten Strömen in der Eisenmasse, die wieder einen dem ursprünglichen Strome entgegengesetzten in A hervorrufen. Beim Oeffnen des Stromes in B wird ein gleich gerichteter Strom in A inducirt, zugleich verschwindet der Magnetismus im Eisenkern, dadurch wird in A ein Strom von demselben Sinne inducirt, der den ersten verstärkt.

7) Man schiebt in B ein Eisendrahtbündel von denselben Dimensionen wie den Eisenstab ein; der Ausschlag des Galvanometers ist nahezu derselbe wie vorher.

8) Man verbindet die Enden der secundären Spirale mit Handgriffen, die man in die Hand nimmt; man erhält Schläge, ein Zeichen, dass die inducirten Ströme eine merkbare physiologische Wirkung ausüben.

9) Man nimmt bei gleich schneller Drehung der Räder bei der Stellung α) und β) die Griffe in die Hand, bei β) erhält man stärkere

Schläge als bei α). Es rührt dies daher, dass der Oeffnungsstrom viel schneller verläuft als der Schliessungsstrom, die physiologischen Wirkungen hängen von der Schnelligkeit der Stromänderungen ab.

10) Man schiebt erst den Eisenstab, dann das Eisendrahtbündel in die Spirale R ein; die Wirkung ist in letzterem Falle viel stärker als in ersterem. In beiden Fällen wird dieselbe Elektricitätsmenge inducirt, bei Anwendung des Drahtbündels aber in viel kürzerer Zeit, die physiologische Wirkung ist daher eine viel stärkere[1]).

Bemerkung. In dem massiven Eisenkern und dem Eisendrahtbündel wird wie in jedem Metallstück beim Schliessen des magnetisirenden Stromes ein dem inducirenden Strom entgegengesetzter Strom inducirt, der die magnetisirende Wirkung des ersteren verlangsamt und damit auch die Erreichung des Endzustandes verzögert. Je stärker der inducirte Strom, um so später wird der Endzustand erreicht, auf einen um so grösseren Zeitraum vertheilt sich die Bewegung der gesammten Elektricitätsmenge. In dem massiven Eisenkern ist der inducirte Strom unvergleichlich viel stärker als in dem Drahtbündel, weil in diesem der Widerstand viel grösser ist, daher wird in dem Drahtbündel der Endzustand viel schneller erreicht, als bei dem massiven Eisenkern. Von der Schnelligkeit des Verlaufes der Ströme hängt aber die physiologische Wirkung in viel höherem Grade ab, als von der Menge der bewegten Elektricität; wie u. A. auch die so heftigen physiologischen Erscheinungen bei den sehr schnellen Entladungen der relativ kleinen Elektricitätsmengen bei Leydener Flaschen zeigen.

---

[1]) Dieser Versuch kann auch mit dem Wagner'schen Hammer angestellt werden.

XII. Vertheilung des Magnetismus.

Magnetisches Moment.

Gebraucht wird: Stricknadeln; Magnetstab oder Drahtspirale mit Element zum Magnetisiren; kleine, frei bewegliche Magnetnadel; dreikantige Feile.

Zwei auf isolirenden Füssen stehende, abgeflachte Metallcylinder (Fig. 277); eine auf einem isolirten Fuss stehende Metallkugel; Elektrisirmaschine; Elektroskop; Glasstab; Leder mit Kienmayer'schem Amalgam bestrichen.

Magnetstab; Hufeisenmagnet; Carton; Eisenfeile.

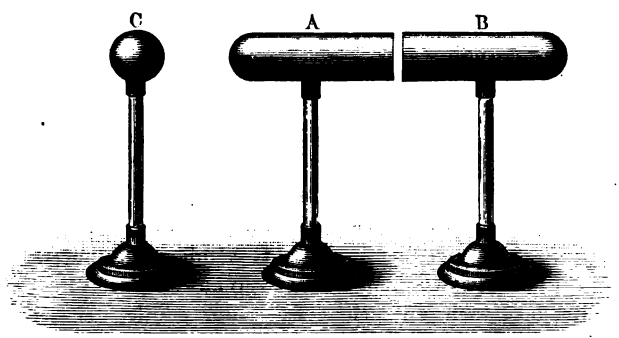
Circa 1 m langer Magnetstab, der durch Marken in zehn gleiche Theile getheilt ist; eine denselben eng umschliessende Drahtspirale; empfindliches Galvanometer mit Fernrohr und Scala; Verbindungsdrähte; Stativ; Coordinatenpapier.

1. Elektrische und magnetische Vertheilung.

A. Elektrische Vertheilung.

Uebung. 1) Vor zwei Messingcylinder, *A* und *B*, die am einen Ende abgerundet, am anderen Ende durch eine ebene Fläche begrenzt

Fig. 277.



sind, und die sich mit ihren ebenen Enden berühren, stellt man eine isolirte Metallkugel *C*, welche durch Berühren mit einem durch Reiben mit Kienmayer'schem Amalgam + elektrisirten Glasstab positiv geladen ist.

2) Man ladet ein Elektroskop durch Berühren positiv mit einem mit Kienmayer'schem Amalgam geriebenen Glasstabe.

3) Während die Kugel *C* an ihrer Stelle steht, nimmt man den Cylinder *B* fort, dann den Cylinder *A*.

4) Man nähert *A* dem Elektroskop, er ist negativ; man nähert *B*, er ist positiv (vgl. S. 375).

5) Man berührt *A* und *B* und nähert sie dann dem Elektroskop; sie sind unelektrisch.

Durch die Annäherung von *C* sind in *AB* die beiden Elektricitäten durch Influenz geschieden und vollkommen getrennt.

B. Magnetische Vertheilung.

Uebung 1. 1) Eine Stricknadel wird durch Streichen mit einem Magnetstabe, oder durch Einlegen in eine Magnetisirungsspirale magnetisirt.

2) Man bestimmt die Pole derselben durch Annähern an eine kleine Magnetnadel und bezeichnet den Nordpol.

3) Man feilt die Nadel in der Mitte mit einer dreikantigen Feile an und bricht sie aus einander. Jede Hälfte hat einen Süd- und einen Nordpol.

Theilt man also einen Magneten in der Mitte in zwei Theile, so zeigen beide Hälften einen Nord- und Südpol, dieselben können nie getrennt vorkommen. Es steht dies mit den Ausführungen S. 436 im Einklang. Ganz anders ist dies bei der Elektricität, hier werden auch in jedem Theilchen positive und negative Elektricität geschieden, sie können aber in den Leitern beide getrennt werden. In den Nichtleitern, den sogenannten Dielektricis, gestalten sich die Verhältnisse bei Annäherung eines elektrisirten Körpers ähnlich wie bei der Magnetisirung von magnetischen Körpern.

Uebung 2. 1) Man legt auf einen geraden horizontalen Magnetstab ein Stück dünnen Cartons und streut Eisenfeile darauf, sie haften an verschiedenen Stellen des Stabes verschieden stark, am wenigsten in der Mitte, stärker gegen die Enden hin, an „den Polen".

2) Man legt einen hufeisenförmigen Magneten horizontal hin und auf ihn ein Stück dünnen Cartons und streut Eisenfeile darauf, sie haften in der Mitte der Biegung fast gar nicht, sondern hauptsächlich an den Enden, den Polen. Zwischen ihnen ordnen sie sich in Curven, die Tangente an denselben entspricht an jeder Stelle der Richtung der magnetischen Kraft, die Curven heissen daher auch Kraftlinien.

2. Magnetisches Moment.

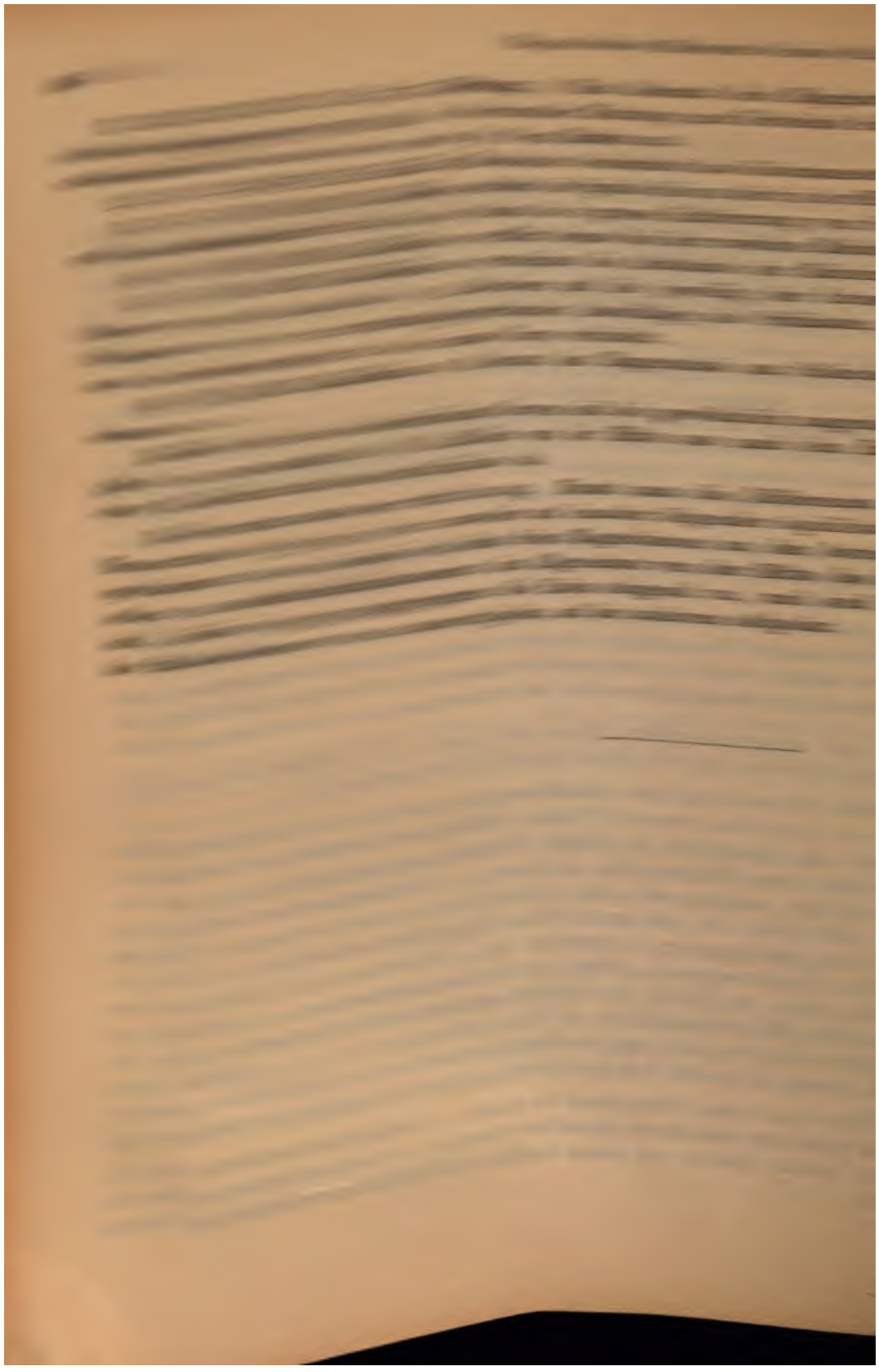
Einleitung. Magnetisches Moment ist das Product aus der in den Polen eines Magnetes angehäuft gedachten magnetischen Masse, multiplicirt mit dem Abstand der beiden Pole. Denken wir uns die die Pole der Molecularmagnete verbindende Axe auf die magnetische Axe des Magnetes, welche mit der Richtung der magnetisirenden Kraft im Allgemeinen zusammenfällt, projicirt und diese Projectionen so verlängert, dass sie alle gleich lang werden und sich mit ihren Enden berühren, dabei aber die constanten freien Magnetismen in demselben Verhältniss geschwächt, so bleiben die „Momente der Projectionen", d. h. die Producte ihrer freien Magnetismen mit ihrer Länge unverändert; eine senkrecht gegen die magnetische Axe des Stabes und die Projectionen der Molecularmagnete darauf wirkende magnetische Kraft sucht sie mit gleicher Stärke um ihre Schwerpunkte zu drehen, wie die Molecularmagnete selbst.

Die freien Magnetismen der bis zur Berührung verlängerten Projection der Molecularmagnete auf die Axe des Stabes sind nicht gleich, die einander zugewendeten Pole derselben heben sich in ihren Wirkungen nach aussen nicht auf, ihre Differenzen werden nicht Null, es ist ein nach aussen wirkender Magnetismus daselbst vorhanden, oder die Molecularmagnete selbst sind an den verschiedenen Stellen des Stabes nicht gleich stark der magnetischen Axe des Stabes zugedreht.

Bestimmung des magnetischen Momentes an einzelnen Stellen eines Magnetstabes durch Inductionsströme.

I. Princip. Beim Verschieben einer Inductionsspirale über einen Magnetstab entstehen in derselben inducirte Ströme. Schiebt man daher nach einander auf die einzelnen, in gleichem Abstande von einander befindlichen Stellen eines Magnetstabes eine kurze, denselben eng umschliessende Drahtspirale, welche mit einem empfindlichen Galvanometer verbunden ist, und führt sie mit grosser Schnelligkeit über den Stab hinweg bis in weite Entfernung, so entstehen in ihr Inductionsströme. Die Nadel des Galvanometers schlägt verschieden stark aus. Man kann nachweisen, dass die Stärke der Inductionsströme der Projection der Momente der Molecularmagnete auf die Axe des Stabes, gerade unter der Spirale, oder wie man sagt, den Momenten der einzelnen Stellen des Stabes in Bezug auf seine Axe, annähernd proportional sind.

II. Apparat. Ein 1 m langer Magnetstab ist am einen Ende befestigt, über denselben lässt sich eine kurze, denselben eng umschliessende Drahtspirale schieben, deren Enden mit einem empfindlichen Galvanometer verbunden sind.



XIII. Bestimmung der Horizontalcomponente des Erdmagnetismus [1]).

Gebraucht wird: Horizontal in einem Glaskasten an Coconfäden aufgehängter Magnetstab, Fig. 278; Fernrohr mit Scala, Stativ dazu; Gewichte zum Anhängen; Chronometer; getheilte Holzleiste mit Magnetnadel, Fig. 279.

Einleitung. Wird ein Magnetstab in horizontaler Richtung an einem Faden aufgehängt und in einer auf die Richtung der erdmagnetischen Kraft senkrechten Lage festgehalten, so wirkt dieselbe auf gleiche Mengen von freiem Magnetismus am Stabe gleich stark. Ihre Gesammtwirkung auf alle freien Magnetismen ist also gleich der Summe der Producte ihrer selbst mit sämmtlichen freien Magnetismen auf jeder Hälfte des Stabes; sie wirkt senkrecht gegen den Stab, auf der einen Hälfte in entgegengesetzter Richtung, wie auf der anderen. Ihre Resultanten auf beiden Seiten wirken an zwei Punkten, die von der Mitte des Stabes gleichweit abstehen, den Polen.

Denkt man sich die freien Magnetismen an jeder Stelle des Stabes durch proportionale Gewichte ersetzt, die erdmagnetische Kraft aber durch die entsprechend stark genommene Schwerkraft, so würde letztere an den Schwerpunkten jener Gewichte auf jeder Seite des Stabes angreifen. In ähnlicher Weise kann man die Pole als die Schwerpunkte der freien Magnetismen auf den beiden Hälften des Stabes definiren. Dieselben liegen bei gleichmässig magnetisirten Stäben etwa je um 0,8 der Länge der Hälften des Stabes von seiner Mitte entfernt.

Aehnlich wie man das Product aus der Länge der Arme eines Hebels mit den an ihren Enden befindlichen Massen als Momente bezeichnet, kann man auch als magnetisches Moment eines Magnetstabes das Product der freien Magnetismen auf seinen beiden Hälften mit dem Abstande der Pole definiren (s. oben).

In vielen Fällen ist es nöthig, sowohl das magnetische Moment M eines Magnetstabes als auch die Kraft H der horizontalen Componente des Erdmagnetismus in absolutem Maasse zu messen.

---

[1]) Wir geben nur die einfachste Form dieser Bestimmung.

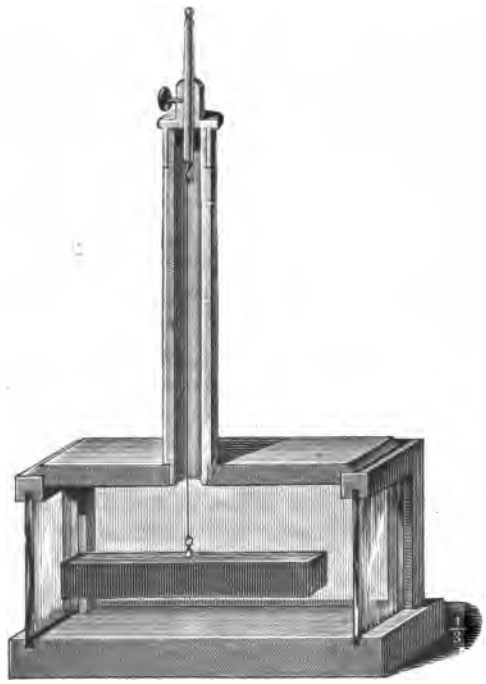
Als Einheit des freien Magnetismus bezeichnet man diejenige Menge desselben, welche auf eine gleich grosse Menge des gleichen Magnetismus in der Einheit der Entfernung (1 cm) eine abstossende Kraft ausübt, die gleich ist der Wirkung der beschleunigenden Kraft Eins auf die Masse Eins (einer Kraft, welche der Masse eines Grammes die Beschleunigung von 1 cm ertheilt).

5. Die Bestimmung der Grössen M und H geschieht nach den Angaben von Gauss gleichzeitig, indem man die Werthe $M.H$ und M/H [1]) bestimmt.

A. Bestimmung von $M.H.$

I. Princip. Hängt man einen Magnetstab an einem dünnen Faden in der Mitte auf, so dass er horizontal schwebt, bringt ihn aus dem magnetischen Meridian heraus und lässt ihn schwingen, so gelten für die Schwingungsdauer ganz analoge Gesetze, wie beim physischen Pendel.

Fig. 278.



Ist bei einem gewöhnlichen physischen Pendel T die Schwingungsdauer, K das Trägheitsmoment (die Summe der Producte der einzelnen Massen mit dem Quadrat der Entfernung von dem Drehpunkte), m die Masse des schwingenden Körpers, g die Beschleunigung durch die Schwerkraft, r der Abstand seines Schwerpunktes vom Drehpunkte, so ergiebt sich

$$T = \pi\sqrt{\frac{K}{m\,g\,r}}.$$

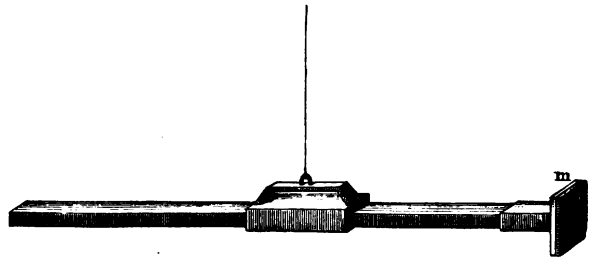
Bei dem schwingenden Magnet ist für mgr das Product der Horizontalcomponente H der Erdmagnetismus mit dem magnetischen Momente M des Stabes zu setzen, also ist die Schwingungsdauer t des Stabes

$$t = \pi\sqrt{\frac{K}{MH}} \quad \text{oder} \quad MH = \frac{\pi^2 K}{t^2}.$$

[1]) Wir geben dem Zwecke des Buches entsprechend nur die einfachsten Formen der Bestimmungen.

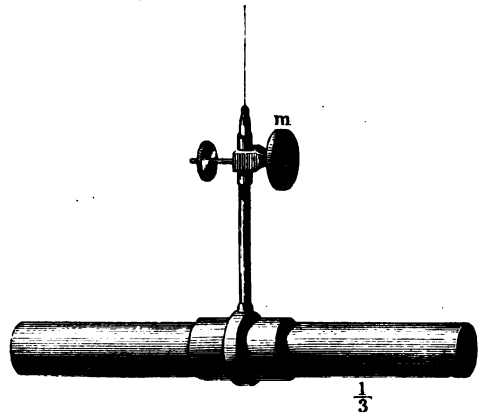
II. Apparat. In dem Glaskasten Fig. 278 ist ein etwa 100 mm langer, 17,5 mm breiter und hoher Magnetstab, an dessen Stirnfläche ein verticaler Strich eingeritzt ist, vermittelst eines kleinen Häkchens an einem Bündel von Coconfäden aufgehängt. Sicherer kann man die Schwingungen beobachten, wenn man an dem Magnet (Fig. 279) oder

Fig. 279.



besser noch an dem den Magnetstab tragenden Stäbchen (Fig. 280) einen kleinen Spiegel m anbringt, in welchem man mittelst eines Fernrohrs das Spiegelbild einer Scala erblickt.

Fig. 280.



III. **Uebung.** a. Bestimmung der Schwingungsdauer.

1) Man stellt vor dem Spiegel m das Fernrohr in der S. 137 angegebenen Weise auf.

2) Man bringt durch Annähern und nachheriges Entfernen eines Magnetes den Magnetstab zum Schwingen.

3) Man bestimmt mit der Secundenuhr die Zeit z die verstreicht, während der Strich auf dem Ende des Stabes eine bestimmte Anzahl x von Malen durch das Fadenkreuz des Fernrohrs geht, oder der Nullstrich der Scala hindurchgeht.

4) Die Schwingungsdauer ist

$$t = \frac{z}{x}.$$

b. Bestimmung des Trägheitsmoments K.

1) Wir hängen auf beiden Seiten je in gleichen, durch Querstriche bezeichneten Entfernungen r_1, r_2 von der Drehungsaxe gleiche Gewichte q_1, q_2 an den Stab, welche oben Bügel mit Schneiden haben, die in die in den Stab eingefeilten Striche eingreifen.

2) Wir versetzen den Stab in Schwingungen und bestimmen wie oben die Schwingungsdauer t_1, t_2.

IV. Berechnung. Die Trägheitsmomente sind um $2\,q_1\,r_1^2$, $2\,q_1\,r_2^2$ u. s. f. vermehrt und es ist

$$HM\,t_1^2 = (K + 2\,q_1\,r_1^2)\,\pi^2$$
$$HM\,t_2^2 = (K + 2\,q_2\,r_2^2)\,\pi^2.$$

Aus diesen Gleichungen und der oben erhaltenen

$$HM\,t^2 = \pi^2 K$$

lässt sich K und HM berechnen.

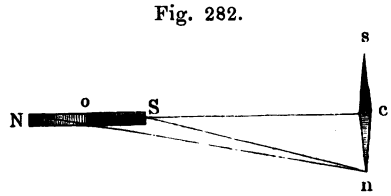
B. Bestimmung von M/H.

Princip und Apparat. Man legt eine getheilte Holzleiste mit einer Längsrinne in horizontaler Lage in der Richtung senkrecht gegen den magnetischen Meridian auf eine feste Unterlage und stellt auf die Mitte derselben eine Bussole mit Kreistheilung, deren Nadel ns sich in

Fig. 281.

der magnetischen Nord-Südrichtung senkrecht zur Leiste einstellt. Zweckmässiger hängt man in der Bussole die Nadel an einem Coconfaden auf (Fig. 281). In die Rinne legt man den zu den vorigen Versuchen benutzten Magnetstab NS.

Fig. 282.



Ist (Fig. 282) der Abstand des Mittelpunktes o des Stabes NS von der Mitte c der Nadel ns gleich r, ist die Nadel ns gegen die Ent-

fernung oc sehr klein, so können wir die von den Polen N und S des Stabes auf die Pole der Nadel wirkenden Kräfte als in der Verbindungslinie oc thätig ansehen und ferner annehmen, dass die Wirkungen des Magnetes von seinen Polen ausgehen. (Dies ist nicht ganz richtig, da die der Nadel näher liegenden freien Magnetismen der einen Seite des Stabes relativ stärker wirken als die entfernteren der anderen.)

Sind ferner die in den Polen concentrirt gedachten freien Magnetismen des Stabes $\pm m$, in denen der Nadel $\pm \mu$, ist der Polabstand des Stabes $2a$, der der Nadel r, so ist z. B. die Wirkung beider Pole des Stabes auf den einen Pol der Nadel gleich

$$\frac{m\mu}{(r+a)^2} \quad \text{und} \quad \frac{m\mu}{(r-a)^2}$$

also ihre Summe, wenn $M = 2am$ das Moment des Stabes ist:

$$F = -\frac{4ra}{(r^2-a^2)^2} m\mu = -\frac{2r}{(r^2-a^2)^2} M\mu.$$

Ist der halbe Polabstand des Stabes a gegen den Abstand r zu vernachlässigen, so wird

$$F = -\frac{2M\mu}{r^3}.$$

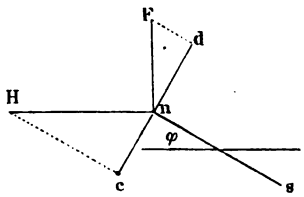
Die Kraft F ändert sich umgekehrt proportional der dritten Potenz des Abstandes r in Folge der Wirkung der beiden Pole. Das auf beide Pole der Nadel ausgeübte Drehungsmoment wird gleich

$$\frac{2M\mu \cdot 2\alpha}{r^3} = \frac{2MM_1}{r^3},$$

wenn M_1 das magnetische Moment der Nadel von der Länge 2α ist.

Durch die Kraft F wird die Nadel aus ihrer Lage im erdmagnetischen Meridian um einen Winkel φ abgelenkt. Auf den einen Pol n der Nadel wirkt dann die Horizontalcomponente des Erdmagnetismus in der Richtung des Meridians mit der Kraft μH, und die Kraft F in der Richtung nF, senkrecht zu ersterer mit der Stärke $M\mu/r^3$. Soll die Nadel unter Einwirkung beider Kräfte im Gleichgewicht sein, so müssen die gegen die Nadel senkrecht gerichteten Componenten beider Kräfte $nc = nd$ sein, d. h.

Fig. 283.



$$\mu H \sin\varphi = 2\frac{M\mu}{r^3}\cos\varphi \quad \text{oder} \quad \frac{1}{2}r^3 \operatorname{tg}\varphi = M/H.$$

Uebung. 1) Man legt den Magnetstab in die Rinne in verschiedenen Abständen von dem Drehpunkte der Nadel, misst diese und die Ablenkungen.

2) Man legt den Stab abwechselnd mit dem Nord- und Südpol und von entgegengesetzten Seiten der Nadel gegenüber und nimmt das Mittel der Ablenkungen φ nach beiden Seiten; dadurch kann man gewisse Fehler der Einstellungen eliminiren.

Berechnung. Aus den Werthen für MH und M/H folgt

$$H = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{2K}{r^3 \operatorname{tg}\varphi}}$$

und

$$M = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{Kr^3 \operatorname{tg}\varphi}{2}}.$$

Trigonometrische Tafel, Einrichtung und Gebrauch derselben.

Die folgende Tafel enthält für Winkel von 0 bis 45^0 den Sinus, die Tangente, die Cotangente und den Cosinus von 10 zu 10 Minuten. Da aber

$$\sin(90-\alpha) = \cos\alpha \qquad tg\,(90-\alpha) = ctg\,\alpha$$
$$\cos(90-\alpha) = \sin\alpha \qquad ctg\,(90-\alpha) = tg\,\alpha$$

ist, so kann man die Tafel auch für die Winkel zwischen 45 und 90^0 benutzen: Ist der Winkel kleiner als 45^0, so benutzt man den vorderen Eingang der Tafel, die oben stehenden Wörter bezeichnen die Columnen, in denen die einzelnen trigonometrischen Functionen stehen; so ist:

$$\sin 33^0\,40' = 0{,}5544 \qquad tg\ 19^0\,50' = 0{,}3607$$
$$\cos 39^0\,10' = 0{,}7753 \qquad ctg\ 43^0\,0' = 1{,}072.$$

Ist der Winkel grösser als 45^0, so benutzt man den hinteren Eingang der Tafel, die unten stehenden Wörter bezeichnen dann die Columnen, in denen die einzelnen trigonometrischen Functionen stehen; so ist:

$$\sin 47^0\,20' = 0{,}7353 \qquad tg\ 72^0\,50' = 3{,}237$$
$$\cos 52^0\,40' = 0{,}6065 \qquad ctg\ 87^0\,30' = 0{,}04366.$$

Hinter jeder Hauptcolumne steht eine kleinere, mit D. I′ überschriebene Columne (ausser auf der ersten Seite, wo die entsprechende Columne für die Cotangente wegen Platzmangel fortgelassen ist). Die in diesen Columnen stehenden Zahlen geben an, um wie viel jeder der beiden Functionswerthe, zwischen denen sie stehen, sich für eine Minute ändert. Diese Zahlen multiplicirt man mit den Einern der Minutenziffer der aufzuschlagenden Winkel und addirt das Product zu der letzten Ziffer des nächst vorhergehenden Functionswerthes, wenn die Function bei wachsendem Winkel wächst, zieht sie dagegen von diesem ab, wenn die Function bei wachsendem Winkel abnimmt. (Die Werthe können in Folge der Abrundung der Zahlen nicht ganz genau sein.)

Beispiele. a) Sinus. $\sin 36^0\,42'$; für $\sin 36^0\,40'$ giebt die Tafel 0,5972; die Differenz für 1′ ist 2,3, demnach für 2′ gleich 4,6 oder rund 5; der Sinus wächst mit dem Winkel also $\sin 36^0\,42' = 0{,}5977$.

$\sin 76^0\,13'$; für $\sin 76^0\,10'$ giebt die Tafel 0,9710; die Differenz für 1′ ist 0,7, also für 3′ gleich 2; demnach $\sin 76^0\,13' = 0{,}9712$.

b) Cosinus. $\cos 42^0\,28'$; der $\cos 42^0\,20' = 0{,}7392$; die Differenz für $1' = 2{,}0$, also für $8' = 16$; der Cosinus nimmt ab mit wachsendem Winkel, also $\cos 42^0\,28' = 0{,}7376$.

$\cos 83^0\,47'$; $\cos 83^0\,40' = 0{,}1103$; Differenz für $1' = 2{,}9$, also für $7' = 20$; demnach $\cos 83^0\,47' = 0{,}1083$.

c) Tangente. $tg\ 37^0\,52'$; $tg\ 37^0\,50' = 0{,}7766$; Differenz für $1' = 4{,}7$, also für $2' = 9$; die Tangente wächst mit dem Winkel; demnach $tg\ 37^0\,52' = 0{,}7775$.

$tg\ 82^0\,33'$; $tg\ 82^0\,30' = 7{,}596$; Differenz für $1' = 17{,}5$, also für $3' = 53$; demnach $tg\ 80^0\,33' = 7{,}649$.

d) Cotangente. $ctg\ 27^0\,44'$; $ctg\ 27^0\,40' = 1{,}907$; Differenz für $1' = 1{,}3$, also für $4' = 5$; die Cotangente nimmt ab mit wachsendem Winkel, also $ctg\ 27^0\,44' = 1{,}902$.

$ctg\ 67^0\,52'$; $ctg\ 67^0\,50' = 0{,}4074$; Differenz für $1' = 3{,}4$, also für $2' = 7$; demnach $ctg\ 67^0\,52' = 0{,}4067$.

G.	M.	Sinus	D. I′	Tang.	D. I′	Cotg.	Cosin.	D. I′	′	°
0	0	0,000 000		0,000 000		+ ∞	1,0000		0	90
	10	0,002 909	290,9	0,002 909	290,9	343,774	1,0000	0,0	50	
	20	0,005 818	290,9	0,005 818	290,9	171,885	1,0000	0,0	40	
	30	0,008 726	290,9	0,008 727	290,9	114,589	1,0000	0,0	30	
	40	0,011 635	290,9	0,011 636	290,9	85,940	0,9999	0,0	20	
	50	0,014 544	290,9	0,014 545	290,9	68,750	0,9999	0,0	10	
			290,8		291,0			0,0		
1	0	0,01 745		0,01 746		57,29	0,9998		0	89
	10	0,02 036	29,1	0,02 037	29,1	49,10	0,9998	0,1	50	
	20	0,02 327	29,1	0,02 328	29,1	42,96	0,9997	0,1	40	
	30	0,02 618	29,1	0,02 619	29,1	38,19	0,9997	0,1	30	
	40	0,02 908	29,1	0,02 910	29,1	34,37	0,9996	0,1	20	
	50	0,03 199	29,1	0,03 201	29,1	31,24	0,9995	0,1	10	
			29,1		29,1			0,1		
2	0	0,03 490		0,03 492		28,64	0,9994		0	88
	10	0,03 781	29,1	0,03 783	29,1	26,43	0,9993	0,1	50	
	20	0,04 071	29,1	0,04 075	29,2	24,54	0,9992	0,1	40	
	30	0,04 362	29,1	0,04 366	29,1	22,90	0,9990	0,1	30	
	40	0,04 653	29,1	0,04 658	29,1	21,47	0,9989	0,1	20	
	50	0,04 943	29,1	0,04 949	29,1	20,21	0,9988	0,1	10	
			29,0		29,2			0,1		
3	0	0,05 234		0,05 241		19,08	0,9986		0	87
	10	0,05 524	29,0	0,05 533	29,2	18,07	0,9985	0,2	50	
	20	0,05 814	29,0	0,05 824	29,2	17,17	0,9983	0,2	40	
	30	0,06 105	29,0	0,06 116	29,2	16,35	0,9981	0,2	30	
	40	0,06 395	29,0	0,06 408	29,2	15,60	0,9980	0,2	20	
	50	0,06 685	29,0	0,06 700	29,2	14,92	0,9978	0,2	10	
			29,0		29,2			0,2		
4	0	0,06 976		0,06 993		14,30	0,9976		0	86
	10	0,07 266	29,0	0,07 285	29,2	13,73	0,9974	0,2	50	
	20	0,07 556	29,0	0,07 578	29,2	13,20	0,9971	0,2	40	
	30	0,07 846	29,0	0,07 870	29,3	12,71	0,9969	0,2	30	
	40	0,08 136	29,0	0,08 163	29,3	12,25	0,9967	0,2	20	
	50	0,08 426	29,0	0,08 456	29,3	11,83	0,9964	0,2	10	
			29,0		29,3			0,2		
°	′	Cosin.	D. I′	Cotg.	D. I′	Tang.	Sinus	D. I′	M.	G.

G.	M.	Sinus	D. I′	Tang.	D. I′	Cotg.	D. I′	Cosin.	D. I′	′	°
5	0	0,0872		0,0875		11,43		0,9962		0	85
			2,9		2,9		3,7		0,2		
	10	0,0901		0,0904		11,06		0,9959		50	
			2,9		2,9		3,5		0,3		
	20	0,0929		0,0934		10,71		0,9957		40	
			2,9		2,9		3,3		0,3		
	30	0,0958		0,0963		10,39		0,9954		30	
			2,9		2,9		3,1		0,3		
	40	0,0987		0,0992		10,08		0,9951		20	
			2,9		2,9		2,9		0,3		
	50	0,1016		0,1022		9,788		0,9948		10	
			2,9		2,9		27,4		0,3		
6	0	0,1045		0,1051		9,514		0,9945		0	84
			2,9		2,9		25,9		0,3		
	10	0,1074		0,1080		9,255		0,9942		50	
			2,9		2,9		24,5		0,3		
	20	0,1103		0,1110		9,010		0,9939		40	
			2,9		2,9		23,3		0,3		
	30	0,1132		0,1139		8,777		0,9936		30	
			2,9		2,9		22,1		0,3		
	40	0,1161		0,1169		8,556		0,9932		20	
			2,9		2,9		21,0		0,3		
	50	0,1190		0,1198		8,345		0,9929		10	
			2,9		2,9		20,1		0,3		
7	0	0,1219		0,1228		8,144		0,9925		0	83
			2,9		2,9		19,1		0,4		
	10	0,1248		0,1257		7,953		0,9922		50	
			2,9		2,9		18,3		0,4		
	20	0,1276		0,1287		7,770		0,9918		40	
			2,9		3,0		17,5		0,4		
	30	0,1305		0,1317		7,596		0,9914		30	
			2,9		3,0		16,7		0,4		
	40	0,1334		0,1346		7,429		0,9911		20	
			2,9		3,0		16,0		0,4		
	50	0,1363		0,1376		7,269		0,9907		10	
			2,9		3,0		15,3		0,4		
8	0	0,1392		0,1405		7,115		0,9903		0	82
			2,9		3,0		14,7		0,4		
	10	0,1421		0,1435		6,968		0,9899		50	
			2,9		3,0		14,1		0,4		
	20	0,1449		0,1465		6,827		0,9894		40	
			2,9		3,0		13,6		0,4		
	30	0,1478		0,1495		6,691		0,9890		30	
			2,9		3,0		13,1		0,4		
	40	0,1507		0,1524		6,561		0,9886		20	
			2,9		3,0		12,6		0,4		
	50	0,1536		0,1554		6,435		0,9881		10	
			2,9		3,0		12,1		0,4		
9	0	0,1564		0,1584		6,314		0,9877		0	81
			2,9		3,0		11,7		0,5		
	10	0,1593		0,1614		6,197		0,9872		50	
			2,9		3,0		11,3		0,5		
	20	0,1622		0,1644		6,084		0,9868		40	
			2,9		3,0		10,9		0,5		
	30	0,1650		0,1673		5,976		0,9863		30	
			2,9		3,0		10,5		0,5		
	40	0,1679		0,1703		5,871		0,9858		20	
			2,9		3,0		10,1		0,5		
	50	0,1708		0,1733		5,769		0,9853		10	
			2,9		3,0		9,8		0,5		
°	′	Cosin.	D. I′	Cotg.	D. I′	Tang.	D. I′	Sinus	D. I′	M.	G.

G.	M.	Sinus	D. I′	Tang.	D. I′	Cotg.	D. I′	Cosin.	D. I′	′	°
10	0	0,1736		0,1763		5,671		0,9848		0	80
			2,9		3,0		9,5		0,5		
	10	0,1765		0,1793		5,576		0,9843		50	
			2,9		3,0		9,2		0,5		
	20	0,1794		0,1823		5,485		0,9838		40	
			2,9		3,0		9,0		0,5		
	30	0,1822		0,1853		5,396		0,9833		30	
			2,9		3,0		8,6		0,5		
	40	0,1851		0,1883		5,309		0,9827		20	
			2,9		3,0		8,4		0,5		
	50	0,1880		0,1914		5,226		0,9822		10	
			2,9		3,0		8,1		0,5		
11	0	0,1908		0,1944		5,145		0,9816		0	79
			2,9		3,0		7,9		0,6		
	10	0,1937		0,1974		5,066		0,9811		50	
			2,9		3,0		7,6		0,6		
	20	0,1965		0,2004		4,989		0 9805		40	
			2,8		3,0		7,4		0,6		
	30	0,1994		0,2035		4,915		0,9799		30	
			2,8		3,0		7,2		0,6		
	40	0,2022		0,2065		4,843		0,9793		20	
			2,8		3,0		7,0		0,6		
	50	0,2051		0,2095		4,773		0,9787		10	
			2,8		3,0		6,8		0,6		
12	0	0,2079		0,2126		4,705		0,9781		0	78
			2,8		3,0		6,6		0,6		
	10	0,2108		0,2156		4,638		0,9775		50	
			2,8		3,0		6,5		0,6		
	20	0,2136		0,2186		4,574		0,9769		40	
			2,8		3,0		6,3		0,6		
	30	0,2164		0,2217		4,511		0,9763		30	
			2,8		3,1		6,1		0,6		
	40	0,2193		0,2247		4,449		0,9757		20	
			2,8		3,1		6,0		0,6		
	50	0,2221		0,2278		4,390		0,9750		10	
			2,8		3,1		5,8		0,6		
13	0	0,2250		0,2309		4,331		0,9744		0	77
			2,8		3,1		5,7		0,7		
	10	0,2278		0,2339		4,275		0,9737		50	
			2,8		3,1		5,5		0,7		
	20	0,2306		0,2370		4,219		0,9730		40	
			2,8		3,1		5,4		0,7		
	30	0,2334		0,2401		4,165		0,9724		30	
			2,8		3,1		5,3		0,7		
	40	0,2363		0,2432		4,113		0,9717		20	
			2,8		3,1		5,1		0,7		
	50	0,2391		0,2462		4,061		0,9710		10	
			2,8		3,1		5,0		0,7		
14	0	0,2419		0,2493		4,011		0,9703		0	76
			2,8		3,1		4,9		0,7		
	10	0,2447		0,2524		3,962		0,9696		50	
			2,8		3,1		4,8		0,7		
	20	0,2476		0,2555		3,914		0,9689		40	
			2,8		3,1		4,7		0,7		
	30	0,2504		0,2586		3,867		0,9681		30	
			2,8		3,1		4,6		0,7		
	40	0,2532		0,2617		3,821		0,9674		20	
			2,8		3,1		4,5		0,7		
	50	0,2560		0,2648		3,776		0,9667		10	
			2,8		3,1		4,4		0,7		
°	′	Cosin.	D. I′	Cotg.	D. I′	Tang.	D. I′	Sinus	D. I′	M.	G.

G.	M.	Sinus	D. I′	Tang.	D. I′	Cotg.	D. I′	Cosin.	D. I′	′	°
15	0	0,2588		0,2679		3,732		0,9659		0	75
			2,8		3,1		4,3		0,8		
	10	0,2616		0,2711		3,689		0,9652		50	
			2,8		3,1		4,2		0,8		
	20	0,2644		0,2742		3,647		0,9644		40	
			2,8		3,1		4,1		0,8		
	30	0,2672		0,2773		3,606		0,9636		30	
			2,8		3,1		4,0		0,8		
	40	0,2700		0,2805		3,566		0,9628		20	
			2,8		3,1		3,9		0,8		
	50	0,2728		0,2836		3,526		0,9621		10	
			2,8		3,1		3,9		0,8		
16	0	0,2756		0,2867		3,487		0,9613		0	74
			2,8		3,1		3,8		0,8		
	10	0,2784		0,2899		3,450		0,9605		50	
			2,8		3,1		3,7		0,8		
	20	0,2812		0,2931		3,412		0,9596		40	
			2,8		3,2		3,6		0,8		
	30	0,2840		0,2962		3,376		0,9588		30	
			2,8		3,2		3,6		0,8		
	40	0,2868		0,2994		3,340		0,9580		20	
			2,8		3,2		3,5		0,8		
	50	0,2896		0,3026		3,305		0,9572		10	
			2,8		3,2		3,4		0,8		
17	0	0,2924		0,3057		3,271		0,9563		0	73
			2,8		3,2		3,4		0,8		
	10	0,2952		0,3089		3,237		0,9555		50	
			2,8		3,2		3,3		0,9		
	20	0,2979		0,3121		3,204		0,9546		40	
			2,8		3,2		3,2		0,9		
	30	0,3007		0,3153		3,172		0,9537		30	
			2,8		3,2		3,2		0,9		
	40	0,3035		0,3185		3,140		0,9528		20	
			2,8		3,2		3,1		0,9		
	50	0,3062		0,3217		3,108		0,9520		10	
			2,8		3,2		3,1		0,9		
18	0	0,3090		0,3249		3,078		0,9511		0	72
			2,8		3,2		3,0		0,9		
	10	0,3118		0,3281		3,047		0,9502		50	
			2,8		3,2		3,0		0,9		
	20	0,3145		0,3314		3,018		0,9492		40	
			2,8		3,2		2,9		0,9		
	30	0,3173		0,3346		2,989		0,9483		30	
			2,8		3,2		2,9		0,9		
	40	0,3201		0,3378		2,960		0,9474		20	
			2,8		3,2		2,8		0,9		
	50	0,3228		0,3411		2,932		0,9465		10	
			2,7		3,2		2,8		0,9		
19	0	0,3256		0,3443		2,904		0,9455		0	71
			2,7		3,3		2,7		0,9		
	10	0,3283		0,3476		2,877		0,9446		50	
			2,7		3,3		2,7		1,0		
	20	0,3311		0,3508		2,850		0,9436		40	
			2,7		3,3		2,6		1,0		
	30	0,3338		0,3541		2,824		0,9426		30	
			2,7		3,3		2,6		1,0		
	40	0,3365		0,3574		2,798		0,9417		20	
			2,7		3,3		2,5		1,0		
	50	0,3393		0,3607		2,773		0,9407		10	
			2,7		3,3		2,5		1,0		
°	′	Cosin.	D. I′	Cotg.	D. I′	Tang.	D. I′	Sinus	D. I′	M.	G.

G.	M.	Sinus	D. I′	Tang.	D. I′	Cotg.	D. I′	Cosin.	D. I′	′	°
20	0	0,3420		0,3640		2,747		0,9397		0	70
			2,7		3,3		2,5		1,0		
	10	0,3448		0,3673		2,723		0,9387		50	
			2,7		3,3		2,4		1,0		
	20	0,3475		0,3706		2,699		0,9377		40	
			2,7		3,3		2,4		1,0		
	30	0,3502		0,3739		2,675		0,9367		30	
			2,7		3,3		2,3		1,0		
	40	0,3529		0,3772		2,651		0,9356		20	
			2,7		3,3		2,3		1,0		
	50	0,3557		0,3805		2,628		0,9346		10	
			2,7		3,3		2,3		1,0		
21	0	0,3584		0,3839		2,605		0,9336		0	69
			2,7		3,3		2,2		1,0		
	10	0,3611		0,3872		2,583		0,9325		50	
			2,7		3,3		2,2		1,0		
	20	0,3638		0,3906		2,560		0,9315		40	
			2,7		3,4		2,2		1,1		
	30	0,3665		0,3939		2,539		0,9304		30	
			2,7		3,4		2,1		1,1		
	40	0,3692		0,3973		2,517		0,9293		20	
			2,7		3,4		2,1		1,1		
	50	0,3719		0,4006		2,496		0,9283		10	
			2,7		3,4		2,1		1,1		
22	0	0,3746		0,4040		2,475		0,9272		0	68
			2,7		3,4		2,1		1,1		
	10	0,3773		0,4074		2,455		0,9261		50	
			2,7		3,4		2,0		1,1		
	20	0,3800		0,4108		2,434		0,9250		40	
			2,7		3,4		2,0		1,1		
	30	0,3827		0,4142		2,414		0,9239		30	
			2,7		3,4		2,0		1,1		
	40	0,3854		0,4176		2,394		0,9228		20	
			2,7		3,4		1,9		1,1		
	50	0,3881		0,4210		2,375		0,9216		10	
			2,7		3,4		1,9		1,1		
23	0	0,3907		0,4245		2,356		0,9205		0	67
			2,7		3,4		1,9		1,1		
	10	0,3934		0,4279		2,337		0,9194		50	
			2,7		3,4		1,9		1,1		
	20	0,3961		0,4314		2,318		0,9182		40	
			2,7		3,4		1,8		1,1		
	30	0,3987		0,4348		2,300		0,9171		30	
			2,7		3,5		1,8		1,2		
	40	0,4014		0,4383		2,282		0,9159		20	
			2,7		3,5		1,8		1,2		
	50	0,4041		0,4417		2,264		0,9147		10	
			2,7		3,5		1,8		1,2		
24	0	0,4067		0,4452		2,246		0,9135		0	66
			2,6		3,5		1,7		1,2		
	10	0,4094		0,4487		2,229		0,9124		50	
			2,6		3,5		1,7		1,2		
	20	0,4120		0,4522		2,211		0,9112		40	
			2,6		3,5		1,7		1,2		
	30	0,4147		0,4557		2,194		0,9100		30	
			2,6		3,5		1,7		1,2		
	40	0,4173		0,4592		2,177		0,9088		20	
			2,6		3,5		1,7		1,2		
	50	0,4200		0,4628		2,161		0,9075		10	
			2,6		3,5		1,6		1,2		
°	′	Cosin.	D. I′	Cotg.	D. I′	Tang.	D. I′	Sinus	D. I′	M.	G.

G.	M.	Sinus	D. I′	Tang.	D. I′	Cotg.	D. I′	Cosin.	D. I.	′	°
25	0	0,4226		0,4663		2,145		0,9063		0	65
			2,6		3,5		1,6		1,2		
	10	0,4253		0,4699		2,128		0,9051		50	
			2,6		3,6		1,6		1,2		
	20	0,4279		0,4734		2,112		0,9038		40	
			2,6		3,6		1,6		1,2		
	30	0,4305		0,4770		2,097		0,9026		30	
			2,6		3,6		1,6		1,3		
	40	0,4331		0,4806		2,081		0,9013		20	
			2,6		3,6		1,5		1,3		
	50	0,4358		0,4841		2,066		0,9001		10	
			2,6		3,6		1,5		1,3		
26	0	0,4384		0,4877		2,050		0,8988		0	64
			2,6		3,6		1,5		1,3		
	10	0,4410		0,4913		2,035		0,8975		50	
			2,6		3,6		1,5		1,3		
	20	0,4436		0,4950		2,020		0,8962		40	
			2,6		3,6		1,5		1,3		
	30	0,4462		0,4986		2,006		0,8949		30	
			2,6		3,6		1,4		1,3		
	40	0,4488		0,5022		1,991		0,8936		20	
			2,6		3,6		1,4		1,3		
	50	0,4514		0,5059		1,977		0,8923		10	
			2,6		3,7		1,4		1,3		
27	0	0,4540		0,5095		1,963		0,8910		0	63
			2,6		3,7		1,4		1,3		
	10	0,4566		0,5132		1,949		0,8897		50	
			2,6		3,7		1,4		1,3		
	20	0,4592		0,5169		1,935		0,8884		40	
			2,6		3,7		1,4		1,3		
	30	0,4617		0,5206		1,921		0,8870		30	
			2,6		3,7		1,4		1,3		
	40	0,4643		0,5243		1,907		0,8857		20	
			2,6		3,7		1,3		1,3		
	50	0,4669		0,5280		1,894		0,8843		10	
			2,6		3,7		1,3		1,4		
28	0	0,4695		0,5317		1,881		0,8829		0	62
			2,6		3,7		1,3		1,4		
	10	0,4720		0,5354		1,868		0,8816		50	
			2,6		3,7		1,3		1,4		
	20	0,4746		0,5392		1,855		0,8802		40	
			2,6		3,8		1,3		1,4		
	30	0,4772		0,5430		1,842		0,8788		30	
			2,5		3,8		1,3		1,4		
	40	0,4797		0,5467		1,829		0,8774		20	
			2,5		3,8		1,3		1,4		
	50	0,4823		0,5505		1,816		0,8760		10	
			2,5		3,8		1,2		1,4		
29	0	0,4848		0,5543		1,804		0,8746		0	61
			2,5		3,8		1,2		1,4		
	10	0,4874		0,5581		1,792		0,8732		50	
			2,5		3,8		1,2		1,4		
	20	0,4899		0,5619		1,780		0,8718		40	
			2,5		3,8		1,2		1,4		
	30	0,4924		0,5658		1,767		0,8704		30	
			2,5		3,8		1,2		1,4		
	40	0,4950		0,5696		1,756		0,8689		20	
			2,5		3,9		1,2		1,4		
	50	0,4975		0,5735		1,744		0,8675		10	
			2,5		3,9		1,2		1,4		
°	′	Cosin.	D. I′	Cotg.	D. I′	Tang.	D. I′	Sinus	D. I′	M.	G.

G.	M.	Sinus	D. I′	Tang.	D. I′	Cotg.	D. I′	Cosin.	D. I′	′	°
30	0	0,5000		0,5774		1,732		0,8660		0	60
			2,5		3,9		1,2		1,5		
	10	0,5025		0,5812		1,720		0,8646		50	
			2,5		3,9		1,1		1,5		
	20	0,5050		0,5851		1,709		0,8631		40	
			2,5		3,9		1,1		1,5		
	30	0,5075		0,5890		1,698		0,8616		30	
			2,5		3,9		1,1		1,5		
	40	0,5100		0,5930		1,686		0,8601		20	
			2,5		3,9		1,1		1,5		
	50	0,5125		0,5969		1,675		0,8587		10	
			2,5		3,9		1,1		1,5		
31	0	0,5150		0,6009		1,664		0,8572		0	59
			2,5		4,0		1,1		1,5		
	10	0,5175		0,6048		1,653		0,8557		50	
			2,5		4,0		1,1		1,5		
	20	0,5200		0,6088		1,643		0,8542		40	
			2,5		4,0		1,1		1,5		
	30	0,5225		0,6128		1,632		0,8526		30	
			2,5		4,0		1,1		1,5		
	40	0,5250		0,6168		1,621		0,8511		20	
			2,5		4,0		1,0		1,5		
	50	0,5275		0,6208		1,611		0,8496		10	
			2,5		4,0		1,0		1,5		
32	0	0,5299		0,6249		1,600		0,8480		0	58
			2,5		4,0		1,0		1,5		
	10	0,5324		0,6289		1,590		0,8465		50	
			2,5		4,1		1,0		1,5		
	20	0,5348		0,6330		1,580		0,8450		40	
			2,5		4,1		1,0		1,6		
	30	0,5373		0,6371		1,570		0,8434		30	
			2,4		4,1		1,0		1,6		
	40	0,5398		0,6412		1,560		0,8418		20	
			2,4		4,1		1,0		1,6		
	50	0,5422		0,6453		1,550		0,8403		10	
			2,4		4,1		1,0		1,6		
33	0	0,5446		0,6494		1,540		0,8387		0	57
			2,4		4,1		1,0		1,6		
	10	0,5471		0,6536		1,530		0,8371		50	
			2,4		4,2		1,0		1,6		
	20	0,5495		0,6577		1,520		0,8355		40	
			2,4		4,2		1,0		1,6		
	30	0,5519		0,6619		1,511		0,8339		30	
			2,4		4,2		0,9		1,6		
	40	0,5544		0,6661		1,501		0,8323		20	
			2,4		4,2		0,9		1,6		
	50	0,5568		0,6703		1,492		0,8307		10	
			2,4		4,2		0,9		1,6		
34	0	0,5592		0,6745		1,483		0,8290		0	56
			2,4		4,2		0,9		1,6		
	10	0,5616		0,6787		1,473		0,8274		50	
			2,4		4,3		0,9		1,6		
	20	0,5640		0,6830		1,464		0,8258		40	
			2,4		4,3		0,9		1,6		
	30	0,5664		0,6873		1,455		0,8241		30	
			2,4		4,3		0,9		1,6		
	40	0,5688		0,6916		1,446		0,8225		20	
			2,4		4,3		0,9		1,7		
	50	0,5712		0,6959		1,437		0,8208		10	
			2,4		4,3		0,9		1,7		
°	′	Cosin.	D. I′	Cotg.	D. I′	Tang.	D. I′	Sinus	D. I′	M.	G.

G.	M.	Sinus	D. I′	Tang.	D. I′	Cotg.	D. I′	Cosin.	D. I′	′	°
35	0	0,5736		0,7002		1,428		0,8192		0	55
			2,4		4,3		0,9		1,7		
	10	0,5760		0,7046		1,419		0,8175		50	
			2,4		4,4		0,9		1,7		
	20	0,5783		0,7089		1,411		0,8158		40	
			2,4		4,4		0,9		1,7		
	30	0,5807		0,7133		1,402		0,8141		30	
			2,4		4,4		0,9		1,7		
	40	0,5831		0,7177		1,393		0,8124		20	
			2,4		4,4		0,8		1,7		
	50	0,5854		0,7221		1,385		0,8107		10	
			2,4		4,4		0,8		1,7		
36	0	0,5878		0,7265		1,376		0,8090		0	54
			2,3		4,4		0,8		1,7		
	10	0,5901		0,7310		1,368		0,8073		50	
			2,3		4,5		0,8		1,7		
	20	0,5925		0,7355		1,360		0,8056		40	
			2,3		4,5		0,8		1,7		
	30	0,5948		0,7400		1,351		0,8039		30	
			2,3		4,5		0,8		1,7		
	40	0,5972		0,7445		1,343		0,8021		20	
			2,3		4,5		0,8		1,7		
	50	0,5995		0,7490		1,335		0,8004		10	
			2,3		4,5		0,8		1,7		
37	0	0,6018		0,7536		1,327		0,7986		0	53
			2,3		4,6		0,8		1,8		
	10	0,6041		0,7581		1,319		0,7969		50	
			2,3		4,6		0,8		1,8		
	20	0,6065		0,7627		1,311		0,7951		40	
			2,3		4,6		0,8		1,8		
	30	0,6088		0,7673		1,303		0,7934		30	
			2,3		4,6		0,8		1,8		
	40	0,6111		0,7620		1,295		0,7916		20	
			2,3		4,6		0,8		1,8		
	50	0,6134		0,7766		1,288		0,7898		10	
			2,3		4,7		0,8		1,8		
38	0	0,6157		0,7813		1,280		0,7880		0	52
			2,3		4,7		0,8		1,8		
	10	0,6180		0,7860		1,272		0,7862		50	
			2,3		4,7		0,8		1,8		
	20	0,6202		0,7907		1,265		0,7844		40	
			2,3		4,7		0,7		1,8		
	30	0,6225		0,7954		1,257		0,7826		30	
			2,3		4,7		0,7		1,8		
	40	0,6248		0,8002		1,250		0,7808		20	
			2,3		4,8		0,7		1,8		
	50	0,6271		0,8050		1,242		0,7790		10	
			2,3		4,8		0,7		1,8		
39	0	0,6293		0,8098		1,235		0,7771		0	51
			2,3		4,8		0,7		1,8		
	10	0,6316		0,8146		1,228		0,7753		50	
			2,2		4,8		0,7		1,8		
	20	0,6338		0,8195		1,220		0,7735		40	
			2,2		4,9		0,7		1,8		
	30	0,6361		0,8243		1,213		0,7716		30	
			2,2		4,9		0,7		1,8		
	40	0,6383		0,8292		1,206		0,7698		20	
			2,2		4,9		0,7		1,9		
	50	0,6406		0,8342		1,199		0,7679		10	
			2,2		4,9		0,7		1,9		
°	′	Cosin.	D. I′	Cotg.	D. I′	Tang.	D. I′	Sinus	D. I′	M.	G

G.	M.	Sinus	D. I′	Tang.	D. I′	Cotg.	D. I′	Cosin.	D. I′	′	°
40	0	0,6428		0,8391		1,192		0,7660		0	50
	10	0,6450	2,2	0,8441	5,0	1,185	0,7	0,7642	1,9	50	
	20	0,6472	2,2	0,8491	5,0	1,178	0,7	0,7623	1,9	40	
	30	0,6494	2,2	0,8541	5,0	1,171	0,7	0,7604	1,9	30	
	40	0,6517	2,2	0,8591	5,1	1,164	0,7	0,7585	1,9	20	
	50	0,6539	2,2	0,8642	5,1	1,157	0,7	0,7566	1,9	10	
41	0	0,6561		0,8693		1,150		0,7547		0	49
	10	0,6583	2,2	0,8744	5,1	1,144	0,7	0,7528	1,9	50	
	20	0,6604	2,2	0,8796	5,1	1,137	0,7	0,7509	1,9	40	
	30	0,6626	2,2	0,8847	5,2	1,130	0,7	0,7490	1,9	30	
	40	0,6648	2,2	0,8899	5,2	1,124	0,7	0,7470	1,9	20	
	50	0,6670	2,2	0,8952	5,2	1,117	0,7	0,7451	1,9	10	
42	0	0,6691		0,9004		1,111		0,7431		0	48
	10	0,6713	2,2	0,9057	5,3	1,104	0,6	0,7412	1,9	50	
	20	0,6734	2,1	0,9110	5,3	1,098	0,6	0,7392	2,0	40	
	30	0,6756	2,1	0,9163	5,3	1,091	0,6	0,7373	2,0	30	
	40	0,6777	2,1	0,9217	5,4	1,085	0,6	0,7353	2,0	20	
	50	0,6799	2,1	0,9271	5,4	1,079	0,6	0,7333	2,0	10	
43	0	0,6820	2,1	0,9325	5,4	1,072	0,6	0,7314	2,0	0	47
	10	0,6841	2,1	0,9380	5,4	1,066	0,6	0,7294	2,0	50	
	20	0,6862	2,1	0,9435	5,5	1,060	0,6	0,7274	2,0	40	
	30	0,6884	2,1	0,9490	5,5	1,054	0,6	0,7254	2,0	30	
	40	0,6905	2,1	0,9545	5,5	1,048	0,6	0,7234	2,0	20	
	50	0,6926	2,1	0,9601	5,6	1,042	0,6	0,7214	2,0	10	
44	0	0,6947	2,1	0,9657	5,6	1,036	0,6	0,7193	2,0	0	46
	10	0,6967	2,1	0,9713	5,6	1,030	0,6	0,7173	2,0	50	
	20	0,6988	2,1	0,9770	5,7	1,024	0,6	0,7153	2,0	40	
	30	0,7009	2,1	0,9827	5,7	1,018	0,6	0,7133	2,0	30	
	40	0,7030	2,1	0,9884	5,7	1,012	0,6	0,7112	2,0	20	
	50	0,7050	2,1	0,9942	5,8	1,006	0,6	0,7092	2,0	10	
45	0	0,7071	2,1	1,0000	5,8	1,000	0,6	0,7071	2,0	0	45
°	′	Cosin.	D. I′	Cotg.	D. I′	Tang.	D. I′	Sinus	D. I′	M.	G.

Einrichtung und Gebrauch der Logarithmentafel.

Die Benutzung der Logarithmen erleichtert die Zifferrechnungen erheblich, denn jede Multiplication der Zahlen verwandelt sich in eine Addition der Logarithmen, jede Division in eine Subtraction, jede Potenzirung in eine Multiplication, jedes Wurzelausziehen in eine Division. Man sucht dazu den Logarithmus des zu berechnenden Ausdruckes und zu diesem dann den Numerus, der das gesuchte Resultat liefert.

1. Aufsuchen des Logarithmus. Jeder Logarithmus besteht aus der Kennziffer (Charakteristik) und der Mantisse, die durch ein Komma getrennt sind. Sucht man zu einer gegebenen Zahl den Logarithmus, so zählt man die Stellen vor dem Komma und zieht 1 von dieser Zahl ab; der Rest ist die Kennziffer. Z. B. *Log* 4367, Kennziffer 3; *Log* 27, Kennziffer 1. Einzifferige Zahlen haben die Kennziffer 0. Bei Decimalbrüchen ohne ganze Zahlen (wie 0,06...) lässt man den Logarithmus mit 0, beginnen und fügt die Kennziffer mit dem negativen Vorzeichen versehen dem Logarithmus an; dabei zählt die Kennziffer die Anzahl Nullen, welche der ersten Ziffer vorangehen. Z. B. *Log* 0,2 hat die Form 0,.....— 1, *Log* 0,003764 die Form 0,.....— 3 u. s. w.

Die Mantisse erhält man aus der folgenden mit „Logarithmen" überschriebenen Tafel. Hat man die Kennziffer des Logarithmus festgestellt, so sucht man die gegebene Zifferfolge unter der Columne „Natürliche Zahl" auf; für alle zweizifferigen Zahlenfolgen enthält die mit 0 überschriebene Columne die Mantisse, die man dann der Kennziffer anhängt. Z. B. *Log* 27; Kennziffer 1, Mantisse 4314, also *Log* 27 = 1,4314; oder *Log* 0,0000089, Kennziffer 0,....— 6, Mantisse 9494, also *Log* 0,0000089 = 0,9494 — 6 u. s. w.

Für einzifferige Zahlen ergiebt dieselbe Colonne die Mantissen; man denkt sich jede solche Ziffer von einer 0 gefolgt; so ist z. B. *Log* 2 = 0,3010 oder *Log* 9 = 0,9542.

Bei dreizifferigen Zahlen, bei denen die dritte Ziffer von 0 verschieden ist, sucht man die beiden ersten Ziffern in der Columne „Nat. Zahl." auf, die dritte in der Horizontalreihe am Kopfe oder am Fusse der Tafel und entnimmt der entsprechenden Horizontal- und Verticalreihe die Mantisse. Z. B. *Log* 334 000: Kennziffer 5, Mantisse für 334 = 5237, also Logarithmus = 5,5237; oder *Log* 0,0879: Kennziffer 0,.....— 2, Mantisse 9440, also *Log* 0,0879 = 0,9440 — 2.

Sucht man zu einer vierzifferigen Zahl den Logarithmus, so sucht man für die drei ersten Ziffern, so wie angegeben, die Mantisse; die vierte Ziffer sucht man in der von der Tafel der Logarithmen durch zwei Verticalstriche getrennten kleinen Tafel auf und entnimmt dieser die Zahl, welche in derselben Horizontalreihe wie die bereits gefundene Mantisse der drei ersten Ziffern steht. Diese Zahl (der sog. Proportionaltheil) wird noch zu der Mantisse zugefügt. Z. B. sei der Logarithmus von 15,36 zu suchen; Kennziffer 1, die Mantisse für 153 ist 1847, dazu giebt die sechste Verticalreihe der kleinen Tafel 17; dieses wird zu 1847 zugezählt, der *Log* 15,36 ist also 1,1864.

Sind für fünf auf einander folgende Ziffern die Mantissen zu suchen, so verfährt man für die ersten vier, wie soeben angegeben; für die fünfte sucht man aus der kleinen Tafel den Proportionaltheil, addirt von diesem aber nur den zehnten Theil zur Mantisse. Z. B. *Log* 53,079; Kennziffer 1; die Mantisse für 530 ist

7243, dazu kommen zuerst von der 7 herrührend 6 Einheiten, die fünfte Ziffer 9 liefert noch 0,7 oder rund 1, also ist *Log* 53,079 = 1,7250. Aehnlich *Log* 0,13989; Kennziffer 0,.....— 1, Mantisse 1430 + 26 + 2,9 oder 1459, wenn man 2,9 zu 3 abrundet, also *Log* 0,13989 = 0,1459 — 1 u. s. w.

Mehr als fünfstellige Zahlen behandelt man so, als ob hinter der fünften Ziffer lauter Nullen ständen. Z. B. ist *Log* 3 378 903 = 6,5287, also gerade so, als ob die Zahl 3 378 900 hiesse.

2. Eigenschaften des Logarithmus.

a) Der Logarithmus des Productes zweier Zahlen ist gleich der Summe der Logarithmen der einzelnen Factoren. Z. B.:

Log 0,03789 = 0,5785 — 2; *Log* 33,799 = 1,5289; der *Log* (0,03789 × 33,799) = *Log* 0,03789 + *Log* 33,799 = 0,1074.

Andererseits ist: 0,03789 × 33,799 = 1,28064 und *Log* 1,28064 = 0,1074.

Ist der Logarithmus eines Productes aus mehreren Factoren zu bilden, so addirt man die Logarithmen eines jeden einzelnen: *Log* (33,909×1507,3×0,0004962) = *Log* 33,909 + *Log* 1507,3 + *Log* 0,00049629 = 1,5303 + 3,1782 + 0,6957 — 4 = 1,4042; der Logarithmus des Productes 25,3613 ist 1,4041.

b) Der Logarithmus des Quotienten zweier Zahlen ist gleich dem Logarithmus des Zählers weniger dem Logarithmus des Nenners.

Beispiel: *Log* (3397,2 : 0,003785) = *Log* 3397,2 — *Log* 0,003785 = 3,5311 — (0,5781 — 3) = 3,5311 — 0,5781 + 3 = 5,9530. Der Quotient giebt direct berechnet 897 543, der Logarithmus davon ist 5,9530.

Enthält der Zähler und Nenner mehrere Factoren, so bildet man erst den Logarithmus des Zählers, dann den des Nenners für sich und subtrahirt dann beide von einander. Der Logarithmus von

$$\frac{32 \times 734 \times 0{,}3674}{0{,}00129 \times 760 \times 1{,}0379}$$

ist z. B.:

$$(1{,}5051 + 2{,}8657 + 0{,}5652 - 1) - (0{,}1106 - 3 + 2{,}8808 + 0{,}0161) = 3{,}9360 - 0{,}0075 = 3{,}9285.$$

c) Den Logarithmus einer Potenz einer Zahl erhält man, wenn man den Logarithmus der Zahl mit dem Exponenten multiplicirt.

Beispiel: *Log* $(31{,}379)^2$ = 2 × *Log* 31,379 = 2 × 1,4966 = 2,9932; *Log* $(0{,}0035699)^4$ = 4 × *Log* 0,0035699 = 4 × (0,5526 — 3) = 2,2104 — 12 = 0,2104 — 10.

d) Den Logarithmus einer Wurzelgrösse erhält man, wenn man den Logarithmus der Zahl, aus der die Wurzel gezogen werden soll, durch den Wurzelexponenten dividirt.

Beispiel: *Log* $\sqrt{1359{,}9}$ = (*Log* 1359,9)/2 = 3,1335/2 = 1,5668.

Log $\sqrt[3]{0{,}00002739}$ = (*Log* 0,00002739)/3 = (0,4376 — 5)/3. Um bei der Division das Auftreten einer gebrochenen Kennziffer zu vermeiden, addirt und subtrahirt man so viele Einheiten, dass die mit dem — Zeichen versehene Ziffer durch den Divisor ohne Rest theilbar ist. Man schreibt hier z. B. für 0,4376 — 5, ohne etwas am Werthe des Ausdrucks zu ändern, 1 + 0,4376 — 5 — 1 = 1,4376 — 6 und dividirt nun erst durch 3; man erhält also

Log $\sqrt[3]{0{,}00002739}$ = (1,4376 — 6)/3 = 0,4792 — 2.

3. Aufsuchen des Numerus. Um die zu einem Logarithmus gehörige Zahl zu finden, benutzt man die mit „Numeri" überschriebene Tafel. Man sucht die ersten beiden Ziffern des Logarithmus nach dem Komma, der Man-

tisse, in der mit „Log." überschriebenen ersten Columne auf, ferner sucht man die dritte Ziffer der Mantisse am Kopfe oder am Fusse der Tafel auf und entnimmt die Ziffer der entsprechenden Horizontal- und Verticalreihe. Die vierte Ziffer sucht man in der kleinen Tafel und addirt die Zahl der zu den beiden ersten Ziffern gehörigen Horizontalreihe dieser kleinen Tafel zu der vierzifferigen Zahl, welche man aus der Haupttafel entnommen hat. In der so erhaltenen vierstelligen Zahl setzt man an die Stelle ein Komma, dass vor demselben eine Ziffer mehr steht, als die Kennziffer des Logarithmus anzeigt; ist diese negativ, so schreibt man vor die aus der Tafel entnommenen Ziffern so viele Nullen, als die Kennziffer Einheiten hat und setzt hinter die erste derselben das Komma.

Beispiele: Der Logarithmus ist 1,4041 [vergl. das letzte unter a) gegebene Beispiel]. Für die drei Ziffern 404 giebt die Tafel die Zahl 2535; für die 1 der vierten Stelle giebt die kleine Tafel eine 1, zusammen also 2536. Da 1 die Kennziffer ist, so ist das Komma an die zweite Stelle zu setzen; die Zahl lautet also 25,36. — 0,009743 ist der Numerus von (0,9887 — 3).

4. Beispiel für die Anwendung der Logarithmenrechnung:

1) $6{,}345 \cdot 92{,}1 \cdot 0{,}0036 \cdot 2005 = P$

Log 6,345	= 0,8024		
Log 92,1	= 1,9643		
Log 0,0036	= 0,5563 — 3		
Log 2005	= 3,3021		
Log P	= 6,6251 — 3	=	3,6251
P	=		4218

2) $\dfrac{4{,}567^3 \cdot \sqrt{8{,}9} \cdot 0{,}02}{6{,}81 \cdot \sqrt{0{,}6} \cdot \sqrt{0{,}0007}} = \dfrac{A}{B} = Q.$

A.

Log 4,567	= 0,6597	3 *Log* 4,567	= 1,9791		
Log 8,9	= 0,9494	$\frac{1}{2}$ *Log* 8,9	= 0,4747		
Log 0,02	= 0,3010 — 2	*Log* 0,02	= 0,3010 — 2		
		Log A	= 2,7548 — 2	=	0,7548
		Log B[1])		=	0,1448 — 1
		$Log \frac{A}{B} = Log\, A - Log\, B$		=	1,6100
		$Q = \frac{A}{B}$		=	40,74

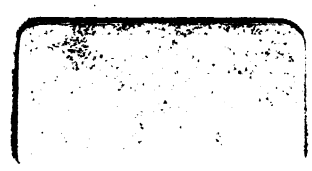
B.

Log 6,81	= 0,8331	*Log* 6,81	= 0,8331		
Log 0,6	= 0,7782 — 1	$\frac{1}{2}$ *Log* 0,6	= 0,8891 — 1		
Log 0,0007	= 0,8451 — 4	$\frac{1}{2}$ *Log* 0,0007	= 0,4226 — 2		
		Log B	= 2,1448 — 3	=	0,1448 — 1

[1]) Berechnung von *Log B* siehe unter B.

	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	4	5	6	7
	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7
	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7
	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	6	6	7
	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7
	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7
	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8
	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8
	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	4	5	6	7	8
	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8
	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8
	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10
	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	7	8	9	10
	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	6	7	8	9	10
	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	5	6	7	8	9	10
	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11
	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11
	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11
	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12
	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12
	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13
	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13
	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13
	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14
	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14
	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14
	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	8	10	11	13	15
	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15
	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	3	5	7	9	10	12	14	16
	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	12	14	16
	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	13	14	16
	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17
	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17
	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18
	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18
	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19
	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19
	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20
	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Log.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0	0	1	1	1	1	2	2	2
·01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045	0	0	1	1	1	1	2	2	2
·02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	0	0	1	1	1	1	2	2	2
·03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	0	0	1	1	1	1	2	2	2
·04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0	1	1	1	1	2	2	2	2
·05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0	1	1	1	1	2	2	2	2
·06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	0	1	1	1	1	2	2	2	2
·07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	0	1	1	1	1	2	2	2	2
·08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	0	1	1	1	1	2	2	2	3
·09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1253	1256	0	1	1	1	1	2	2	2	3
·10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	0	1	1	1	1	2	2	2	3
·11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	0	1	1	1	2	2	2	2	3
·12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	0	1	1	1	2	2	2	2	3
·13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	1581	0	1	1	1	2	2	3	3	3
·20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0	1	1	1	2	2	3	3	3
·21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	0	1	1	2	2	2	3	3	3
·22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1687	1690	1694	0	1	1	2	2	2	3	3	3
·23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	0	1	1	2	2	2	3	3	4
·24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0	1	1	2	2	2	3	3	4
·25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0	1	1	2	2	2	3	3	4
·26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	0	1	1	2	2	3	3	3	4
·27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	0	1	1	2	2	3	3	3	4
·28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	1	1	2	2	3	3	4	5	5
·40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	1	1	2	2	3	4	4	5	5
·41	2570	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	1	1	2	2	3	4	4	5	5
·42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685	1	1	2	2	3	4	4	5	6
·43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	1	1	2	3	3	4	4	5	6
·44	2754	2761	2767	2773	2780	2786	2793	2799	2805	2812	1	1	2	3	3	4	4	5	6
·45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877	1	1	2	3	3	4	5	5	6
·46	2884	2891	2897	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	1	1	2	3	3	4	5	5	6
·47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	1	1	2	3	3	4	5	5	6
·48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	1	1	2	3	4	4	5	6	6
·49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	1	1	2	3	4	4	5	6	6
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Log.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	4	5	6	7
·51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7
·52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7
·53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	6	6	7
·54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7
·55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7
·56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8
·57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8
·58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	4	5	6	7	8
·59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8
·60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8
·61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10
·67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	7	8	9	10
·68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	6	7	8	9	10
·69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	5	6	7	8	9	10
·70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11
·71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11
·72	5248	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11
·73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
·74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
·75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
·76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12
·77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12
·78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13
·79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13
·80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13
·81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14
·82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14
·83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14
·84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	8	10	11	13	15
·85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
·86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15
·87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	3	5	7	9	10	12	14	16
·88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	12	14	16
·89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	13	14	16
·90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17
·91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
·92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17
·93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18
·94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18
·95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19
·96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19
·97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20
·98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
·99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

NOV 2 0 1944